

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Marko Čejvan

**ŠIROKOPOJASNI PRISTUP INTERNETU U REPUBLICI
HRVATSKOJ**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 20. ožujka 2018.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Arhitektura telekomunikacijske mreže**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 4520

Pristupnik: **Marko Čejvan (0135233110)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Širokopojasni pristup Internetu u Republici Hrvatskoj**

Opis zadatka:

U radu je potrebno analizirati osnovne arhitekture mreža. Objasniti značajke širokopojasnog pristupa preko bakrene parice i svjetlovodnog vlakna. Istražiti stanje širokopojasnog Internetu u Republici Hrvatskoj. Opisati uslugu Bitstream.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

dr. sc. Ivan Forenbacher

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**ŠIROKOPOJASNI PRISTUP INTERNETU U REPUBLICI
HRVATSKOJ**

**BROADBAND INTERNET ACCESS IN THE REPUBLIC OF
CROATIA**

Mentor:

Dr. sc. Ivan Forenbacher

Student:

Marko Čejvan, 0135233110

Zagreb, rujan 2018.

SAŽETAK

Cilj završnog rada je analizirati aktualne širokopojasne pristupne nepokretne mreže na telekomunikacijskom tržištu Republike Hrvatske. U ovom radu navedene su i objašnjene sve relevantne tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu preko bakrene parice i svjetlovodne niti koje su omogućile upotrebu postojeće infrastrukture te smanjene operativnih troškova operatora. Implementacijom širokopojasnih pristupnih tehnologija uvedene su TripplePlay usluge, ali i novi poslovni modeli temeljeni na *bitstream*-u pružajući krajnjim korisnicima ugovaranje usluga pristupa Internetu kod alternativnih operatora iako nemaju vlastitu pristupnu mrežu koja to omogućuje. Krajnjim korisnicima omogućene su nove multimedijske usluge temeljene na Internetu, a za njihovo funkcioniranje je potrebna velika mrežna propusnost. Na kraju, autor je rezultate stavio u širu perspektivu uspoređujući dostupnost i korištenost usluge u Republici Hrvatskoj sa onim u Europskoj uniji.

KLJUČNE RIJEČI: širokopojasni pristup Internetu; ADSL; VDSL; svjetlovodne mreže FTTx; širokopojasni pristup Internetu u Republici Hrvatskoj; bitstream usluga

SUMMARY

The aim of the paper is to analyze the current broadband access on the telecommunications market of the Republic of Croatia. This paper describes and explains all relevant broadband Internet access technologies through copper pairs and fiber optic cables that allow the use of existing infrastructure and reduces operating costs. The implementation of broadband access technologies has introduced TripplePlay services, as well as new *bitstream* based business models, providing access services to end users who wants services from alternative providers, although they do not have their own access network. New Internet based multimedia services are enabled to end users, but they require a significant network bandwidth. Finally, author provides a broader perspective by comparing the availability and use of services in the Republic of Croatia with those in European Union.

KEY WORDS: broadband Internet access; ADSL; VDSL; fiber optic network; FTTx; broadband Internet access in Republic of Croatia; bitstream service.

Sadržaj

1. UVOD	1
2. OSNOVE ARHITEKTURA MREŽA	3
3. ŠIROKOPOJASNI PRISTUP INTERNETU PUTEM BAKRENE PARICE	5
3.1. Osnovne karakteristike xDSL tehnologija	6
3.1.1. Prigušenje parice	7
3.1.2. Omjer signal/šum	8
3.2. Tehnologija ADSL	9
3.3. Tehnologija ADSL2/ADSL2+	10
3.4. Tehnologija VDSL/VDSL2	12
3.4.1. VDSL2 vektoriranje	14
3.4.2. Usnopljavanje linija	15
3.5. Modulacijske tehnike	15
3.6. DSL pristupni multipleksor	17
3.7. Smetnje	18
3.7.1. Preslušavanje	19
3.7.2. Premošteni odvojci	20
4. ŠIROKOPOJASNI PRISTUP INTERNETU PUTEM SVJETLOVODNOG VODA ..	21
4.1. Elementi svjetlovodne pristupne mreže	21
4.1.1. Optički linijski terminal	21
4.1.2. Razdjelnik	22
4.1.3. Optički mrežni terminal	24
4.2. Aktivna optička mreža	24
4.3. Pasivna optička mreža	25
4.3.1. APON i BPON	26
4.3.2. EPON	27
4.3.4. GPON	28

4.4. WDM	29
4.5. Arhitekture FTTx mreža.....	31
4.5.1. FTTN.....	32
4.5.2. FTTC.....	33
4.5.3. FTTB.....	33
4.5.4. FTTH.....	33
5. STANJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA INTERNETU U REPUBLICI HRVATSKOJ.....	35
5.1. Usporedba s državama Europske unije.....	39
5.2. Razvoj NGA infrastrukture u Republici Hrvatskoj	42
6. USLUGA BITSTREAM PRISTUPA INTERNETU	44
6.1. Realizacija bitstream usluge na IP razini.....	46
6.2. Realizacija bitstream usluge na Ethernet razini.....	47
6.3. Realizacija bitstream usluge na DSLAM/OLT razini	48
7. ZAKLJUČAK.....	50
LITERATURA	51
POPIS KRATICA	55
POPIS SLIKA	58
POPIS TABLICA.....	59
POPIS GRAFIKONA	60

1. UVOD

Razvojem informacijsko komunikacijskih tehnologija došlo je do promjena u svim sferama društva. Tehnologija koja je temelj ekonomije i društva 21. stoljeća, postala je najprodornija tehnologija današnjice. Dostupnost širokopojasnog pristupa Internetu je osnovni čimbenik potreban za razvitak informacijskog društva. Razvojem tehnologije i praćenjem trendova u svijetu operatori sa hrvatskog tržišta telekomunikacija su korisnicima omogućavali usluge pristupa Internetu na postojećoj bakrenoj infrastrukturi koristeći određene pristupne tehnologije. Na bakrenoj parici su najrasprostranjenije tehnologije ADSL, ADSL2, ADSL2+, VDSL, VDSL2 te VDSL2+ koji omogućava maksimalno iskorištavanje bakrene upredene parice.

Kako su zahtjevi za velikim pristupnim brzinama rasli iz godine u godinu tako su operatori bili prisiljeni obnoviti pristupnu bakrenu mrežu uvođenjem svjetlovodne mreže koja je dijelom ili u potpunosti zamijenila bakrenu pristupnu mrežu. Troškovi implementacije su veliki problem koji stoji ispred telekom operatora prilikom izgradnje svjetlovodne infrastrukture, ali veliki zahtjevi korisnika su nadmoćniji te su urbana mjesta Republike Hrvatske skoro u potpunosti pokrivena svjetlovodnom infrastrukturom.

U ovom završnom radu su navedene i opisane najrasprostranjenije tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu u nepokretnoj mreži u Republici Hrvatskoj.

Rad je podijeljen u šest cjelina:

1. Uvod
2. Osnove arhitektura mreža
3. Širokopojasni pristup Internetu putem bakrene parice
4. Širokopojasni pristup Internetu putem svjetlovodnog vlakna
5. Stanje širokopojasnog pristupa Internetu u Republici Hrvatskoj
6. Usluga *bitstream* pristupa Internetu
7. Zaključak

U drugom poglavlju analizirane su osnove arhitektura mreža. Objašnjeni su elementi osnove arhitekture mreže koja predstavlja generičku bazu za telekomunikacijske mreže koje su u daljnjim poglavljima u radu detaljno analizirane.

Treće poglavlje detaljno analizira širokopojasni pristup Internetu putem bakrene parice. Navedene su korištene pristupne tehnologije na bakrenoj parici te njihove značajke.

Četvrto poglavlje analizira širokopojasni pristup Internetu putem svjetlovodnog vlakna. Opisani su načini implementacije svjetlovodnih mreža te tehnologije koje omogućuju pristup preko takvih mreža.

Peto poglavlje analizira stanje širokopojasnog pristupa Internetu u Republici Hrvatskoj temeljenog na podacima HAKOM-a te na temelju podataka Europske komisije.

Šesto poglavlje opisuje uslugu *bitstream* te svaku od četiri razine pristupa za alternativnog operatora.

Osnovna arhitektura mreže omogućuje prijenos korisničkih informacija od izvorišta do odredišta. Korisničke informacije na putu od izvorišta prema odredištu prolaze kroz mrežu komutacijskih čvorova.



Ova opća definicija informacijsko-komunikacijske mreže može se primijeniti na javnu telekomunikacijsku mrežu. Tada čvorovi postaju tzv. centrale koje se mogu nalaziti u agregacijskom ili pristupnom dijelu mreže. Na centralu koja se nalazi u pristupnom dijelu mreže s jedne strane se povezuju krajnji uređaji, dok se sa druge strane prema hijerarhiji povezuje centrala više hijerarhijske razine koja je dalje spojena na jezgreni dio mreže.

Jezgrena mreža je ključni dio telekomunikacijske mreže koja korisnicima nudi brojne atraktivne usluge preko pristupne mreže s kojom je povezana. Kada govorimo o jezgrenom dijelu mreže možemo povući paralelu sa velikim visoko-funkcionalnim podatkovnim centrima koji se trenutno temelje na IP protokolu što omogućava puno veću fleksibilnost i interoperabilnost mreže. Najvažnije zadaće koje pred sobom ima jezgrena mreža su komutacija i usmjeravanje prometa te konverzija različitih vrsta prometa [5].

Pristupna mreža se još naziva agregacijska mreža jer je najvažnija zadaća koju obavlja agregacija prometa. Preko pristupne mreže koja je svjetlovodnim sustavima povezana na jezgrenu mrežu, telekom operatori korisnicima pružaju usluge koristeći određene pristupne tehnologije. Najvažniji element u pristupnoj mreži je svakako multipleksor koji omogućava razošljavanje podataka putem bakrenih parica ili svjetlovodnih niti ka krajnjim korisnicima [5].

Najmanji dio mreže no ne i najmanje bitan je korisnička mreža. Dio mreže koji se nalazi u kućama/zgradama krajnjih korisnika. Putem lokalne kućne instalacije omogućava spajanje na pristupnu mrežu. Krajnji uređaj na strani korisnika je IAD (engl. Integrated Access Device), uređaj koji omogućava modulaciju odlaznog i demodulaciju dolaznog prometa te ima ulogu preklopnika omogućavajući većem broju korisnika Internet pristup [5].

3. ŠIROKOPOJASNI PRISTUP INTERNETU PUTEM BAKRENE PARICE

Devedesetih godina razvoj tehnologije je doveo do potrebe za brzim dijeljenjem informacija. Tada je dostupna tehnologija poput POTS-a, u Hrvatskoj je bio uvriježen naziv *dial-up*. Radilo se o vrsti pristupa Internetu putem telefonske linije. Korisnik je morao posjedovati modem koji bi morao biti povezan na telefonsku liniju i na osobno računalo s kojega je pristupao Internetu. Pretraživanje Internetskih stranica tada je bilo skupo jer se nije naplaćivala količina prenesenih podataka već vrijeme provedeno na Internetu. Naravno, najskuplje tarife su bile preko dana, odnosno od 7 do 16 sati, dok je najjeftinije bilo za vrijeme noćnih sati od 19 do 7 sati. Povezivanje na Internet putem *dial-up* tehnologije se ostvarivalo tako da korisnik bira broj telekom operatora koji mu pruža uslugu pristupa Internetu te tako ostvaruje konekciju. Maksimalna teoretska brzina kod *dial-up* konekcije je 56 kbit/s međutim zbog neizbježnih smetnji na liniji kao što su šum utječu na maksimalnu ostvarivu brzinu koja zbog navedenih razloga nije prelazila 50 kbit/s. Frekvencijski pojas koji je *dial-up* odnosno POTS koristio za prijenos govorne komunikacije je bio od 0.3 do 25 kHz.

Kako je potreba za brzinom porasla s vremenom je došla nadogradnja na postojeću analognu fiksnu telefonsku mrežu. ISDN, odnosno digitalna mrežna integriranih usluga, omogućavala je govornu komunikaciju i prijenos podataka u isto vrijeme što nije bilo moguće koristeći *dial-up* tehnologiju. Kako ISDN možemo shvatiti kao prijelaz sa analogne mreže na digitalnu, tu konverziju nam je omogućavao NT uređaj koji je omogućavao spajanje i analognih terminalnih uređaja na njega. Način komunikacije se odvijao putem dva odvojena kanala. B kanal (engl. bearer) je omogućavao brzinu od 64 kbit/s i služio je za prijenos podataka, također je postojao i D kanal (engl. data) koji je služio za signalizaciju odnosno za uspostavljanje i prekid veze, [3].

Postojala su dva tipa ISDN usluga, BRA odnosno osnovni pristup koji se sastojao od 2 B kanala i 1 D kanala ukupne brzine 128 kbit/s te je D kanal ostvarivao brzinu od 16 kbit/s. PRA odnosno primarni pristup koji se sastojao od 30 B kanala ukupne brzine 1920 kbit/s i 1 D kanala brzine 64 kbit/s. BRA ISDN usluga je bila dostupna rezidencijalnim korisnicima dok je PRA usluga bila dostupna poslovnim korisnicima. Frekvencijski pojas koji je ISDN koristio je bio od 1 do 120 kHz, [1].

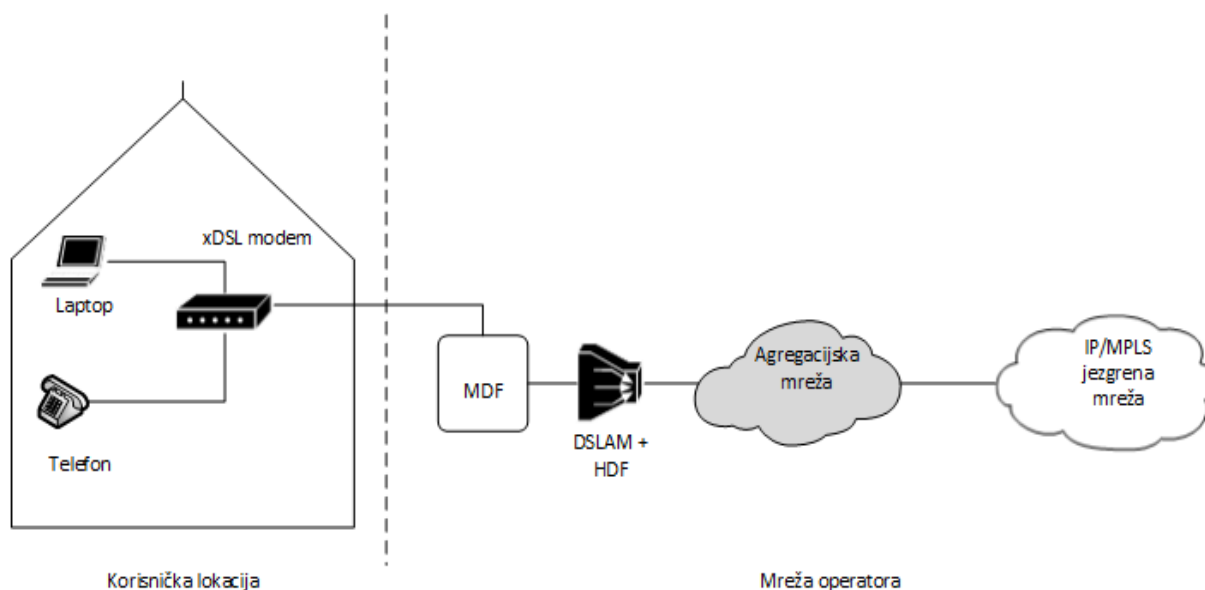
Razvojem tehnologije i potrebom za mrežnim resursima nastao je DSL odnosno digitalna pretplatnička linija koji se naglo počeo širiti zahvaljujući niskim troškovima implementacije zbog postojeće bakrene infrastrukture, a naročito velikom povećanju maksimalne brzine. U nastavku završnog rada biti će detaljnije opisana digitalna pretplatnička linija kao i njene bitne izvedenice.

3.1. Osnovne karakteristike xDSL tehnologija

Jako velike brzine su postale neophodne korisnicima kako bi mogli uživati u uslugama informacijsko-komunikacijskih tehnologija koje im nude telekom operatori kao što su video na zahtjev, IPTV, VoIP i igranje igara na Internetu. DSL to omogućava zahvaljujući nepostojanju ograničenja širine prijenosnog pojasa. Kako bi povećali brzinu moramo informacije slati na višim frekvencijama, međutim kako se povećava frekvencija tako se prigušenje povećava. Direktno povezano s time je i duljina lokalne petlje koja se povećanjem brzine odnosno slanjem informacija na višim frekvencijama smanjuje. Frekvencijski pojas dijelimo na odlazni i dolazni. Odlazni pojas se koristi za prijenos podataka u smjeru od korisnika prema mreži, dok se dolazni pojas koristi u smjeru prema korisniku. Svaki od ta dva frekvencijska pojasa su podijeljena na tonove ili nositelje gdje je svaki ton ili nositelj širine 4.3125 kHz te prenosi određeni broj bitova. Frekvencijski spektar koji DSL koristi je od 25kHz nadalje [2],[3].

DSL tehnologije većinom dijelimo u dvije grupe, simetrične i asimetrične. Kod simetričnih tehnologija govorimo o jednakom odnosu brzine u odlaznom i dolaznom smjeru, dok kod asimetričnih tehnologija se brzine razlikuju. Kod rezidencijalnih korisnika su najčešće asimetrične tehnologije, dok kod poslovnih korisnika se implementiraju simetrične. Postoje tehnologije DSL-a koje mogu pružiti i simetričnu i asimetričnu podjelu brzina ovisno o ponudi telekom operatora i o duljini lokalne petlje.

Na slici 2. je vidljiva osnovna arhitektura DSL-a. Terminalna oprema krajnjeg korisnika povezana je na lokalnu petlju preko xDSL modema. Lokalna petlja se povezuje na lokalnu centralu koja se sastoji od MDF-a (engl. Main distribution frame), HDF-a (eng. Handover distribution frame) i DSLAM-a (eng. Digital subscriber line access multiplexor) te ona pokriva područje na kojem se nalazi korisnik. Navedena lokalna centrala je dalje povezana na agregacijsku te potom na jezgrenu mrežu telekom operatora.

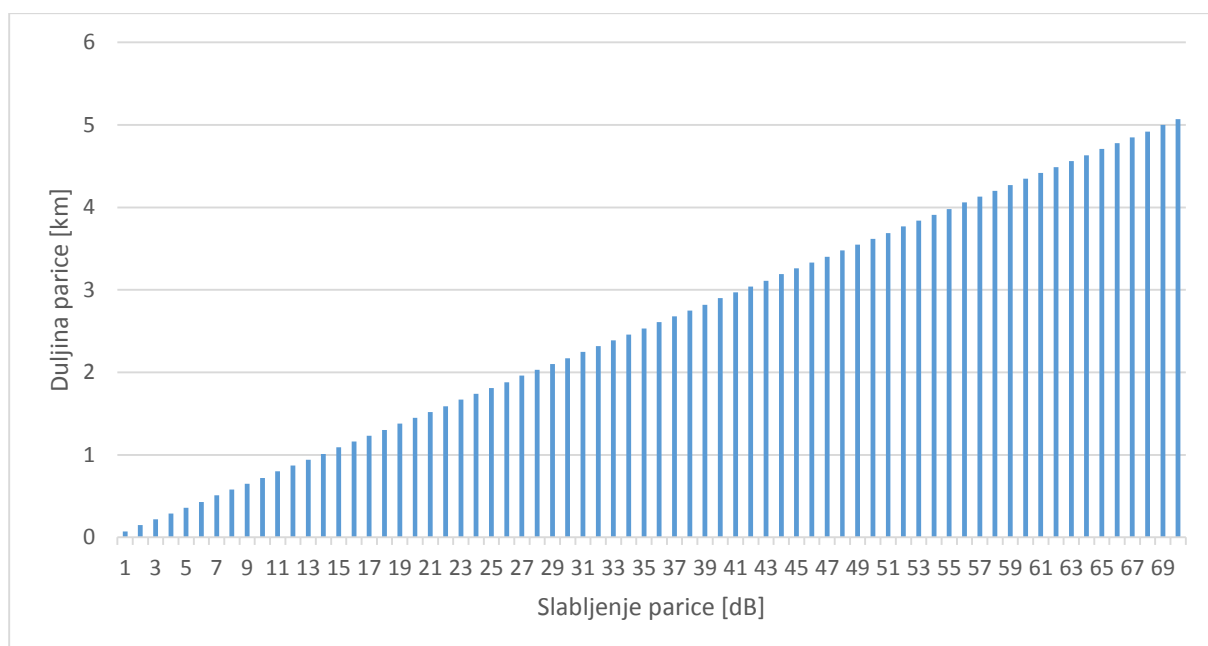


Slika 2. xDSL arhitektura. Izvor [35]

DSL tehnologiju možemo koristiti paralelno sa analognom ili digitalnom telefonskom linijom. Karakteristika koja to DSL-u omogućuje je korištenje spektra tek iznad 25 kHz. Kako bi takva usluga funkcionirala potrebno je rastaviti frekvencije DSL filterom na krajnjoj točki kod korisnika. Na upredenu paricu se postavi filter koji ima jedan ulaz za dovodnu paricu i dva izlaza, jedan za telefonsku liniju i jedan za čisti DSL signal [4].

3.1.1. Prigušenje parice

Prigušenje parice ili atenuacija je parametar koji predstavlja slabljenje signala na upredenoj parici, odnosno koliko je signala degradirano između modema krajnjeg korisnika i DSLAM-a. Direktno je vezana za duljinu same parice. Što je parica duža to će maksimalna brzina biti manja, a atenuacija veća. Veličina atenuacije na bakrenoj parici ovisi o frekvenciji. Što su frekvencije signala više i što je duljina parice veća to raste prigušenje [1], [3].



Grafikon 1. Ovisnost atenuacije o duljini parice

Izvor:[6]

Iz grafikona 1 vidljivo je koliko iznosi prigušenje parice pri određenim duljinama lokalne petlje odnosno upredene parice.

3.1.2. Omjer signal/šum

Jako važan parametar kod xDSL tehnologija je i SNR odnosno omjer signal/šum. SNR nam govori kolika je potrebna razlika snage korisnog signala naspram svih smetnji da bi modem kod krajnjeg korisnika i DSLAM znali razlikovati jedinicu od nule. Čak i najbolje izvedene upredene parice primaju nekakav šum. Taj šum je bilo koja elektromagnetska interferencija koja nije dio originalnog signala. Najčešće se radi o signalima ostalih parica koje se nalaze u istom kabelu koji se može sastojati i od 1000 parica te isto toliko može biti i signala. Svi ti signali proizvode drugima šum. Ukoliko je šum dosta jak onda je na kraju parice originalni signal toliko izobličen da je postao nerazumljiv [3].

Za razliku od atenuacija koja je direktno povezana sa maksimalnom brzinom, SNR je povezan sa stabilnosti xDSL signala koji primamo od DSLAM-a. Što je SNR manji to znači da xDSL signal nije stabilan, te dolazi do čestog od spajanja i spajanja modema odnosno gubljenja signala (tablica 1.). Također bitno je da je SNR stabilan

što je više moguće, ako taj parametar ima velike oscilacije također je posljedica nestabilnost xDSL signala [3].

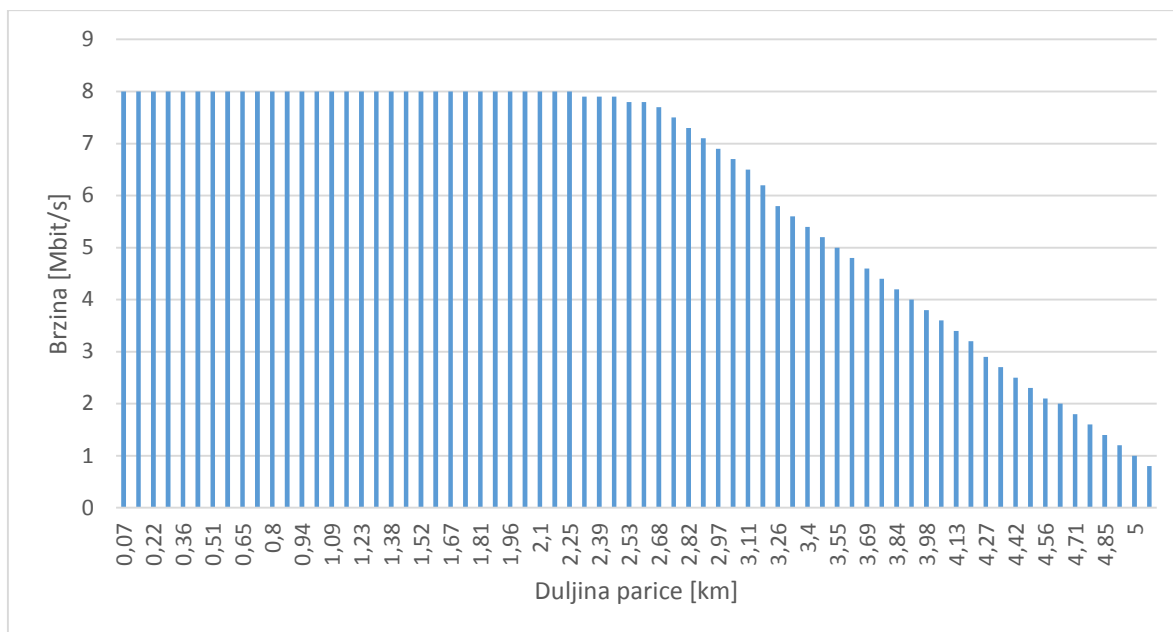
Tablica 1. Kvaliteta xDSL linije u odnosu na razinu SNR-a

SNR	Kvaliteta linije
≤ 10 dB	Nestabilna linija uz puno pucanja DSL-a
11-20 dB	Stabilna linija uz malu vjerojatnost pucanja DSL-a
20-28 dB	Stabilna linija bez pucanja
≥ 29 dB	Savršena linija

Izvor: [7]

3.2. Tehnologija ADSL

Tehnologija ADSL ili asimetrična digitalna korisnička linija je definirana ITU-T preporukom G.992.1 1999. godine. Izvorna namjena je bila za prijenos video-na-zahtjev sadržaja brzinama od 8 Mbit/s u silaznoj vezi i 640 kbit/s u uzlaznoj vezi. Duljina lokalne petlje kod ADSL tehnologije maksimalno može iznositi oko 5 km, a maksimalna odlazna brzina 8 Mbit/s na udaljenostima do 2 km. Na grafikonu 2 vidimo ovisnost brzine u smjeru prema korisniku o duljini parice na ADSL tehnologiji. Radi se o asimetričnoj pretplatničkoj liniji kod koje je brzina prijenosa podataka u smjeru prema korisniku veća od brzine u smjeru od korisnika. ADSL tehnologija za odlazni promet koristi frekvencijski spektar od 25 do 138 kHz dok za dolazni promet koristi spektar od 138 do 1104 kHz. Velike razlike u brzinama za odlazni i dolazni promet nisu predstavljale problem kod većine rezidencijalnih korisnika iz razloga što velika većina rezidencijalnih korisnika najčešće samo preuzima sadržaj sa Interneta, dok se u odlaznom smjeru šalju samo zahtjevi za preuzimanjem sadržaja [4].



Grafikon 2. Ovisnost dolazne brzine o duljini parice – ADSL

Izvor: [8]

U prvih nekoliko godina uvođenja ADSL tehnologije u Hrvatsku usluge su dobro funkcionirale. Zbog malog broja korisnika bilo je lagano ustanoviti smetnju te ju riješiti. Najčešći problem kod usluga zasnovanim na ADSL-u su bile kućne instalacije koje nisu adekvatno napravljene. Prvi veći izazov pred ADSL-om je bilo uvođenje IPTV-a koji je koristio MPEG-2 kodiranje videosignala koje je trebalo 5 do 6 Mbit/s za kvalitetnu sliku. Za korisnike koji bili pretplaćeni na uslugu IPTV-a su se tražile kvalitetnije parice, dok bi se ostali ADSL korisnici odmicali od takvih parica kako bi kvaliteta usluge bila zadovoljavajuća. Stvar se dodatno zakomplicirala liberalizacijom tržišta gdje je svaki telekom operator imao pravo najma lokalne petlje i pružanja usluge krajnjim korisnicima, ta se usluga zove *bitstream* i kasnije je u radu detaljno pojašnjena [3].

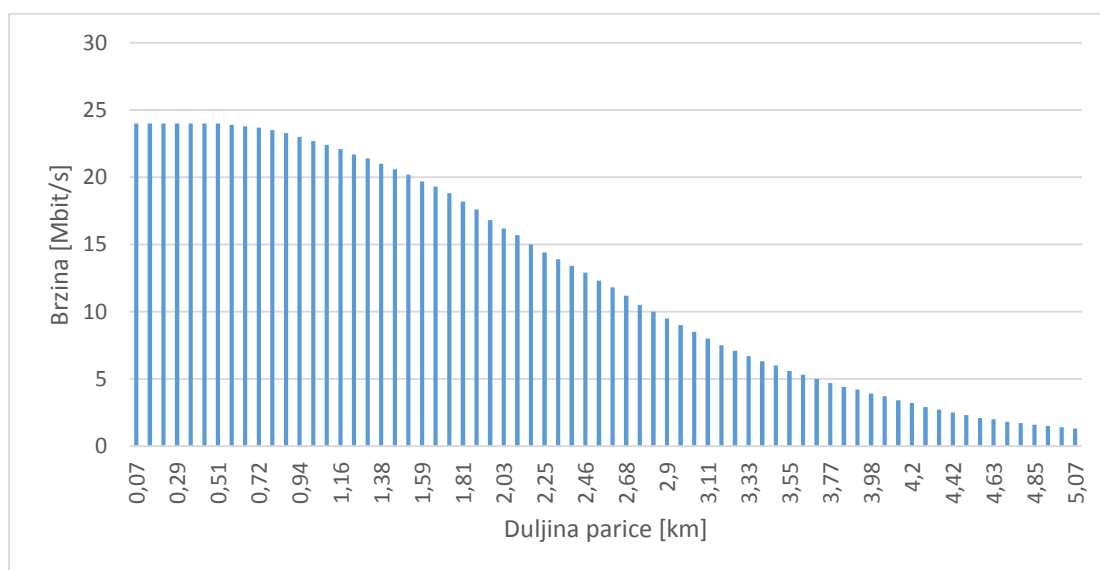
3.3. Tehnologija ADSL2/ADSL2+

ADSL2 tehnologija je druga generacija asimetrične digitalne pretplatničke linije. Definirana je ITU-T preporukom G.992.3 2002. godine. Donijela je poboljšanje u segmentu brzine i dometa. Maksimalna brzina ADSL2 tehnologije je 13 Mbit/s koju može ostvariti na udaljenosti do 1.5 km. Maksimalna duljina upredene parice može iznositi 5.5 km, a to omogućava uvođenje novog dodatka ili aneksa, Aneks L. Dodatci

koji se uvode kod ADSL standarda definiraju pod kanale i njihove snage za odlazni i dolazni smjer prijenosa. Zahtjevi za povećanjem brzine su neophodni uvođenjem novih usluga za krajnje korisnike kao što su IPTV u MPEG-4 kodiranju videosignala za koji je potrebno 8 Mbit/s dolazne brzine kako bi usluga bila zadovoljavajuće kvalitete. Frekvencijski spektar koji ADSL2 koristi za odlaznu i dolaznu vezu je 1.1 MHz te je isti kao i kod prethodnika ADSL-a [4].

Nedugo nakon toga ITU-T izdaje preporuku G.992.5 2003. godine za ADSL2+ puno superiornijeg nasljednika od dva prethodnika. Najveće unapređenje je u maksimalnoj brzini koja je drastično porasla na 24 Mbit/s u smjeru prema korisniku i 1 Mbit/s u smjeru od korisnika prema mreži. Kako bi se omogućilo ovo drastično povećanje brzine morao se proširiti frekvencijski spektar koji je narastao na 2.2 MHz što je dvostruko veće od prethodnika. Korisnici koji su bili bliže centralama mogli su prijeći na ADSL2+ tehnologiju zbog povećanja maksimalne brzine. Potrebno je bilo zamijeniti modem koji se nalazio kod korisnika radi toga što modemi koji su se koristili za ADSL i ADSL2 tehnologije nisu imali mogućnost rada i ADSL2+ tehnologije. Međutim teoretske brzine koje su navedene nisu uvijek i kod svakog korisnika bile ostvarive radi ovisnosti o uvjetima u dolaznom kabelu u kojem se nalazi korisnikova upredena parica [3], [4].

Grafikon 3 nam pokazuje ovisnost brzine u dolaznom smjeru o duljini parice na ADSL2 i ADSL2+ tehnologijama.

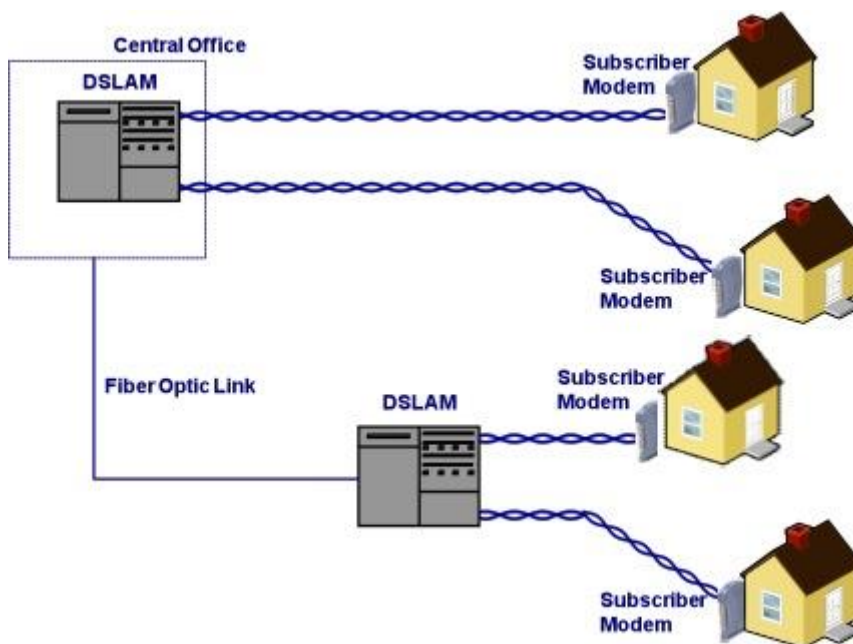


Grafikon 3. Ovisnost dolazne brzine o duljini parice – ADSL2/ADSL2+

Izvor: [8]

3.4. Tehnologija VDSL/VDSL2

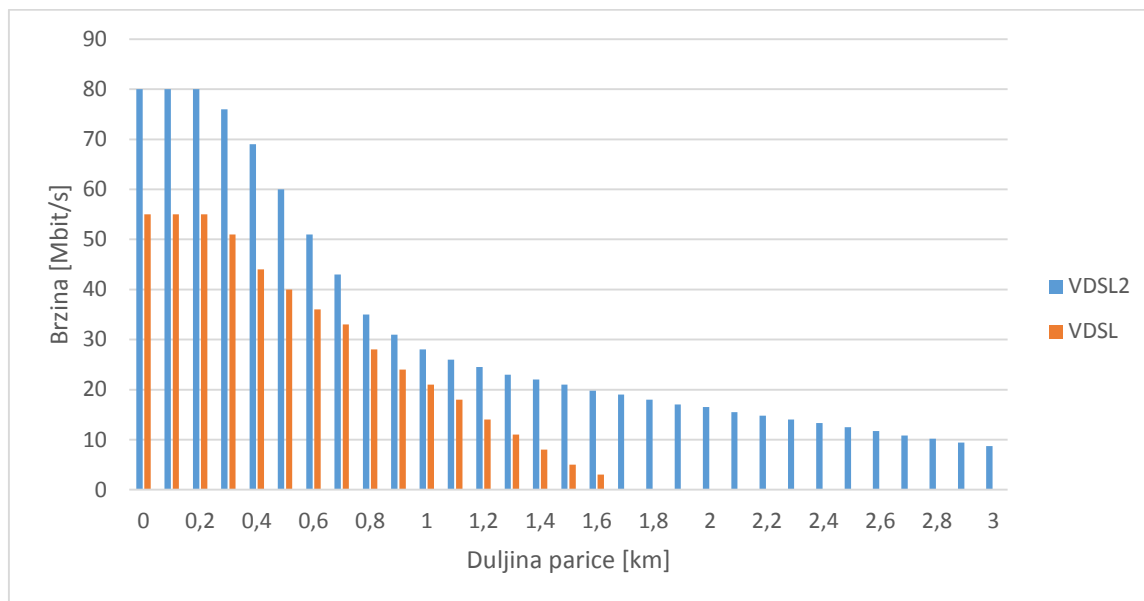
Sljedeća razvojna stepenica u širokopojasnim pristupnim mrežama preko bakrene parice predstavlja tehnologija VDSL odnosno digitalna pretplatnička brzina vrlo velikih brzina. U lipnju 2004. godine ITU-T izdaje preporuku G.993.1 kojom je definirana tehnologija VDSL. Tehnologija koja podržava asimetričan i simetričan prijenos podataka. Zbog velikog napretka u povećanju maksimalne brzine drastično se smanjila maksimalna duljina parice. VDSL širokopojasni pristup je najčešće kombinacija optičke i bakrene mreže. Kako bi korisnici imali mogućnost korištenja VDSL usluge moraju ili biti blizu postojećoj centrali ili telekom operator postavlja kabinete koje predstavljaju manje centrale do kojih dolazi optička nit, dok od kabineta prema korisniku ide bakrena parica kao što je prikazano na slici 3. Takav način pristupa se naziva FTTN ili FTTB koji će detaljnije biti objašnjen u nastavku rada.



Slika 3. Arhitektura VDSL tehnologije, [10]

Kako bi se omogućilo veliko povećanje brzine opet se morao povećati frekvencijski pojas. VDSL koristi frekvencijski pojas od 2.2 MHz do 12 Mhz za odlazni i dolazni smjer. Visoke frekvencije mu omogućuju teoretske maksimalne brzine od 100 Mbit/s u dolaznom smjeru, dok u praksi ta brzina pada do maksimalnih 80 Mbit/s na udaljenostima do 200 m od centrale. Maksimalna duljina parice koristeći VDSL

tehnologiju je 3 km. Grafikon 4 daje vjerni prikaz odnosa brzine i duljine parice na VDSL tehnologiji [5].



Grafikon 4. Ovisnost dolazne brzine o duljini parice – VDSL/VDSL2

Izvor: [8]

Radi velikih brzina koje VDSL omogućuje, korisnici imaju najveću ponudu usluga na toj tehnologiji. Video na zahtjev, televizija visoke definicije ili HDTV, rad na daljinu, učenje na daljinu, videokonferencije samo su neke od mnoštva usluga koje korisnici zahvaljujući velikim brzinama mogu koristiti.

Druga inačica VDSL tehnologije nazvana skraćeno VDSL2 je definirana od strane ITU-T-a preporukom G.993.2 u svibnju 2005. godine. Brzine koje može isporučiti VDSL tehnologija su skoro dvostruko veće od VDSL tehnologije, ali samo kod korisnika koje se nalaze relativno blizu centrale. Na udaljenostima većim od 1.5 km telekom operatori biraju ADSL2+ tehnologiju radi stabilnosti usluga. Kako bi se postigla teoretska maksimalna brzina od 200 Mbit/s frekvencijski pojas je povećan na 30 MHz. VDSL2 koristi nekoliko različitih profila, razlikuju se u korištenom frekvencijskom pojasu i širini vala nosioca, a kao posljedica ta dva parametra mijenja se i maksimalna brzina. Tablica 2 prikazuje sve VDSL2 profile i njihove parametre [10], [11].

Tablica 2. VDSL2 profili

Parametar	VDSL2 profil							
	8a	8b	8c	8d	12a	12b	17a	30a
Širina spektra (kHz)	8832	8832	8832	8832	12000	12000	17664	30000
DMT tonovi	2048	2048	2048	2048	2783	2783	4096	3479
Širina DMT tona (kHz)	4.3125	4.3125	4.3125	4.3125	4.3125	4.3125	4.3125	8.625
Maksimalna brzina (Mbit/s)	50	50	50	50	68	68	100	200
Maksimalna snaga (dBm)	17.5	20.5	11.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5

Izvor:[17]

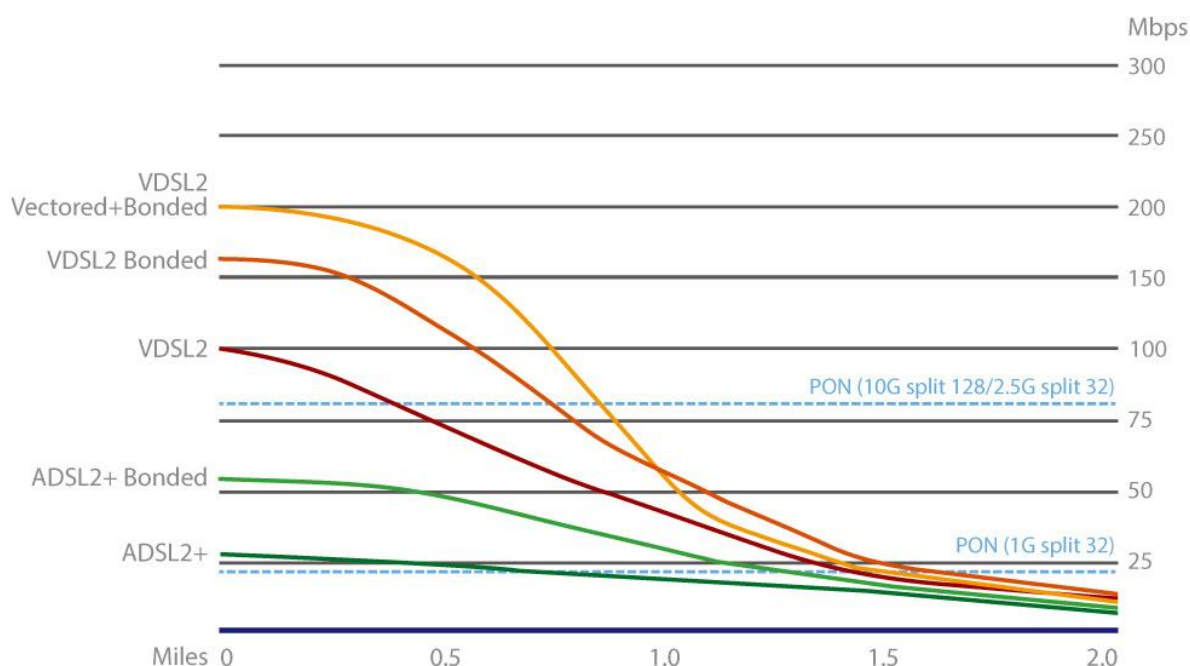
3.4.1. VDSL2 vektoriranje

Kako bi VDSL2 tehnologija omogućila korisnicima velike maksimalne brzine koristi se tehnika vektoriranja. Godine 2015. ITU-T izdaje preporuku G.993.5 kojom je definirana tehnika vektoriranja za VDSL2 širokopojasni pristup.

Tehnika vektoriranja poništava preslušavanje između postojećih parica u kabelu te smanjuje elektromagnetske smetnje. Kako bi vektoriranje bilo moguće potreban je DSLAM koji omogućuje tu opciju te modem na strani krajnjeg korisnika koji to također omogućuje. Većina korisničkih modema se može samo softverski nadograditi kako bi podržavala vektoriranje što smanjuje troškove telekom operatora.

DSLAM koji podržava vektoriranje mjeri razinu interferencije na cijeloj parici te potom generira signal čija je zadaća poništavanje interferencija. Kao rezultat imamo signal sa znatno manje interferencije te shodno tome većom brzinom na većim udaljenostima.

Glavna zadaća vektoriranja je povećati brzine korisnika koji su dalje od centrale, a ne samo onih koji su u neposrednoj blizini centrale kao što vidimo na slici 4. Na duljini parice od 1 km je razlika u vektoriranom i ne vektoriranom VDSL2 signalu razlika i do 20 Mbit/s. Također kako bi vektoriranje bilo efikasnije bitno je da su sve parice iz kabela povezane na isti DSLAM koji njima upravlja [12].



Slika 4. Ovisnost brzine o duljini parice na VDSL2 vektoriranom i ne vektoriranom signalu, [9]

3.4.2. Usnopljavanje linija

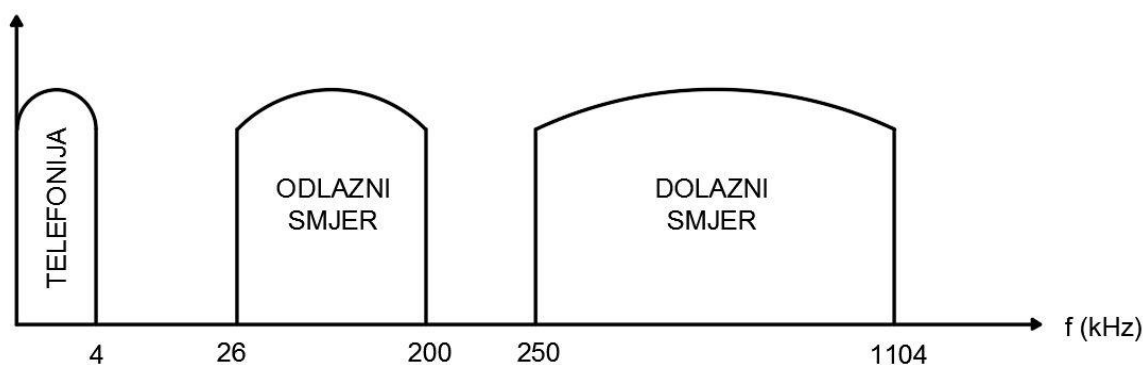
Usnopljavanje linija je tehnika koja omogućava kombiniranje dvije VDSL2 linije u jednu virtualnu te tako omogućava isporuku dvostruko veće brzine krajnjem korisniku na većim udaljenostima. Tehnika usnopljavanja linija se ne koristi samo kod VDSL2 širokopojasnog pristupa nego i kod ADSL2+ i VDSL tehnologije pristupa. Usnopljavanje linija se najčešće koristi zajedno sa vektoriranjem kako bi se maksimizirala brzina kao što je prikazano na slici 4. Najčešće se usnopljavaju dvije linije, ali moguće je usnopiti i više od dvije linije što se najčešće koristi kod zahtjevnijih poslovnih korisnika [13].

3.5. Modulacijske tehnike

Kako bi prenosili informacije sa jednog mjesta na drugo potrebno ih je utisnuti ili upisati u signal koji odašiljemo. Taj postupak utiskivanja informacija u val nosioc nazivamo modulacija. Kako svaki prijenos informacija odnosno širokopojasni pristup bio on fiksni ili mobilni ima karakterističnu modulacijsku tehniku tako i širokopojasne pristupne tehnologije imaju svoje glavne modulacijske tehnike, a to su CAP odnosno

amplitudno-fazna modulacije bez nositelja i DMT odnosno diskretna višetonska modulacija.

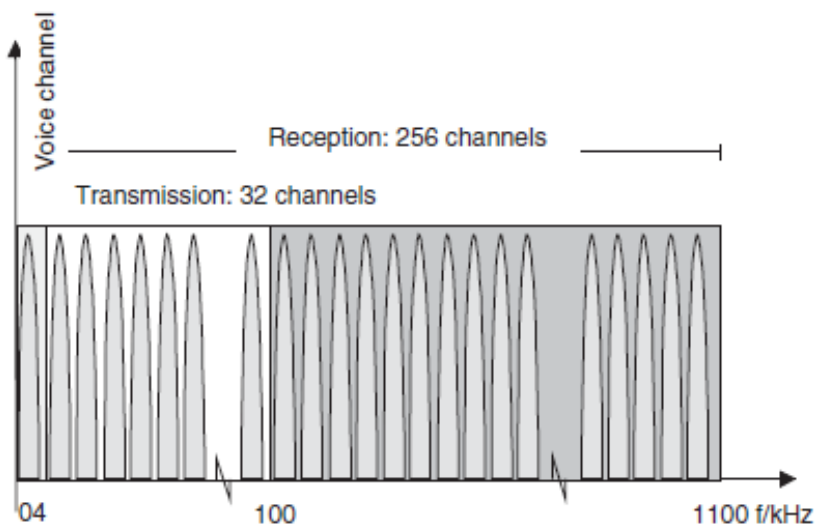
CAP modulacijska tehnika je preteča DMT tehnike. Koristila se od 1996. godine kada je patentirana u SAD-u od strane kompanije AT&T. CAP i QAM modulacijske tehnike imaju isti ishod s bitnom razlikom da QAM generira I i Q komponente u analognoj domeni dok CAP to radi u digitalnoj domeni. CAP koristi cijelu širinu kanala za modulaciju, a taj kanal zauzima cijeli prijenosni spektar. Prijenosni spektar za ADSL tehnologiju je prikazan na slici 5. Dolaskom DMT modulacijske tehnike CAP se više ne koristi radi velike pouzdanosti i fleksibilnosti DMT-a na paricama različite kvalitete [5].



Slika 5. Frekvencijski spektar korišten kod ADSL tehnologije, [1]

Diskretna multitonnska modulacija odnosno DMT je najdominantnija modulacijska tehnika koju koriste sve asimetrične tehnologije za pristup internetu preko bakrene parice. DMT modulacija funkcionira na način da raspoloživi frekvencijski spektar dijeli u 256 kanala ili tonova čiji su nosioci međusobno ortogonalni i razmaknuti za 4.3125 kHz kao što je vidljivo na slici 6. dok kod VDSL2 tehnologije korištenjem 30a profila razmak između kanala je 8.625 kHz. Ovisno o aneksu koji se koristi određeni broj kanala se koristi za odlazni i za dolazni promet. Najbitnije svojstvo DMT modulacije je da modem i DSLAM prije slanja korisničkih informacija provjere stanje na parici te ovisno o tome slože određenu količinu bitova na svaki od tonova. Ukupni broj kanala ovisi o širini frekvencijskog spektra koji određena tehnologija koristi, pa tako ADSL koristi 256, dok ADSL2+ koristi 512 kanala radi povećanja spektra na 2.2 MHz. Radi velikih interferencija odnosno gubitaka snage na višim frekven cijama određeni kanali se ne mogu koristiti jer nisu pogodni za prijenos informacija. Kako se radi o složenim

algoritmima za kodiranje, primjena ove modulacijske tehnike ne bi bila moguća bez korištenja DSP čipova koji su dovoljno jaki i koji su s vremenom postali dovoljno jeftini da bi se isplatili za ugradnju za potreban hardver [15], [16].



Slika 6. Primjena DMT modulacije kod ADSL tehnologije, [5]

3.6. DSL pristupni multiplexsor

DSLAM ili pristupni multiplexsor digitalne pretplatničke linije je mrežni uređaj koji je smješten u sklopu telefonske centrale telekom operatora (slika 7). Osnovna zadaća DSLAM-a je povezati jezgrenu mrežu telekom operatora sa korisničkim modemima. Dakle, DSLAM dijeli jednu dolaznu vezu na više odlaznih te isto tako spaja sve veze od korisnika u jednu koja ide prema jezgrenoj mreži. Veza koja povezuje DSLAM sa jezgrenom mrežom mora biti veća od svih kapaciteta korisničkih veza kako ne bi došlo do potencijalnog zagušenja mreže u trenucima kada je najveće prometno opterećenje DSLAM radi na podatkovnom sloju OSI modela i njegova zadaća je jako slična mrežnom preklopniku. DSLAM se sastoji od priključnih kartica koje mogu biti procesorske i distribucijske. Distribucijske kartice su one koje terminiraju različite xDSL signale ovisno o korištenoj tehnologiji, dok procesorske kartice imaju istu ulogu kao CPU u osobnom računalu, dakle procesiraju podatke. Dolaskom ADSL tehnologije na područje Republike Hrvatske DSLAM-i su bili sastavni dio velikih telefonskih centrala koje su zapravo velike zgrade debelih zidova sa malo prozora, kako bi održale nisku unutarnju temperaturu. Razvitkom tehnologije DSLAM-i su postali više praktični i otporniji na velike temperature te ih se ugrađuje u male kabinete koji su stacionirani

ispred manjih naselja kako bi se korisnicima omogućila veća pristupna brzina. Proizvođači DSLAM-a koji su u primjeni kod telekom operatora u Republici Hrvatskoj su Alcatel-Lucent, Ericsson i Huawei [17].



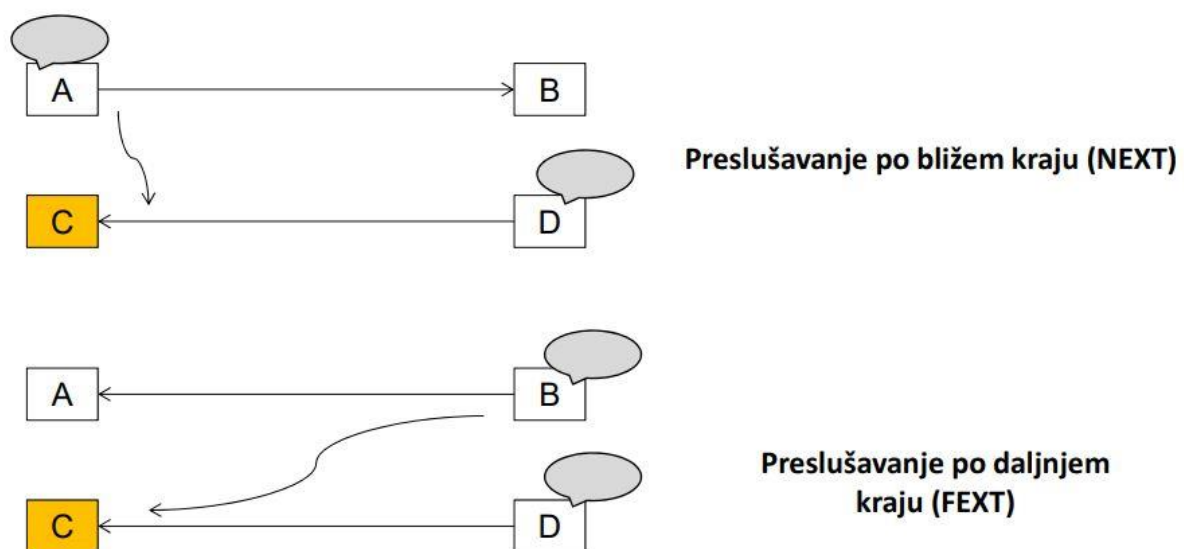
Slika 7. Huawei UA5000 DSLAM, [18]

3.7. Smetnje

Kako niti jedna tehnologija širokopojasnog pristupa nije idealna tako nisu ni tehnologije koje omogućuju pristup preko bakrene parice. Problem nastaje kod karakteristika bakrene parice. Bakrena pristupna mreža koja se koristi kod xDSL tehnologija je iz različitih razdoblja, kabeli s papirnom izolacijom koji su stari preko 30 godina do kabela nešto boljih karakteristika sa politetilenom kao izolatorom nikada nisu ni bili dizajnirani za širokopojasni pristup te su stvoreni za telefoniju, dok su xDSL tehnologije naknadno dizajnirane kako bi funkcionirale na postojećoj mreži. Upravo radi medija kojim se prenose informacije dolazi do smetnji i do ograničenog razvitka širokopojasnih pristupnih tehnologija na bakrenoj parici [1], [17].

3.7.1. Preslušavanje

Preslušavanje uzrokuje šum koji se pojavljuje radi elektromagnetskog zračenja pojedinih parica u kabelu. Svaka žica u kabelu stvara električna i magnetska polja radi kojih nastaju inducirane struje u susjednim žicama i tako im stvaraju šum preslušavanja. Do preslušavanja ne bi dolazilo toliko da je svaka parica oklopljena, međutim to bi povećalo presjek i povisilo cijenu kabela. Dvije vrste preslušavanja dijelimo: NEXT odnosno preslušavanje na bližem kraju i FEXT odnosno preslušavanje na daljem kraju (slika 8) [1].



Slika 8. Vrste preslušavanja, [2]

Preslušavanje na bližem kraju je utjecajnije na korisnika radi toga što je na izvoru primarni signal najjači. Kako bi se smanjilo preslušavanje na bližem kraju DSLAM koristi multipleksiranje s frekvencijskom raspodjelom kanala. Preslušavanje na daljem kraju nema toliki utjecaj na korisnički signal kao preslušavanje na bližem kraju jer se preslušavanje prigušuje kako se prigušuje i primarni signal. Kako se povećava duljina upredene parice tako se i preslušavanje na daljem kraju povećava jer ima veću duljinu za preslušavanje. Uspješno reduciranje preslušavanja na daljem kraju se vrši korištenjem vektoriranja kod VDSL tehnologija [2], [17].

3.7.2. Premošteni odvojci

Jedan od najvažnijih problema s kojima se susreću xDSL tehnologije su premošteni odvojci. Premošteni odvojci se mogu nalaziti na bilo kojem dijelu petlje između centrale i korisničkog uređaja. Kako je za premoštenje potreban prespoj povećava se impendancija te se uzrokuje refleksija što izobličuje signal. Pojava refleksije je najčešća na onim dijelovima gdje je telefonska usluga otkazana, a kabel je i dalje prisutan u korisničkom dijelu. xDSL tehnologije koje rade na nižim frekvencijama su manje podložne utjecaju premoštenih odvojaka [1], [2], [17].

4. ŠIROKOPOJASNI PRISTUP INTERNETU PUTEM SVJETLOVODNOG VODA

Učinak razvoja informacijskih i komunikacijskih tehnologija, širokopojasnih pristupnih mreža velikih brzina i globalne mrežne povezivosti bitan je za razvoj cjelokupnog društva i gospodarstva. Svi aspekti funkcioniranja društva nezaustavljivo konvergiraju prema digitalnom svijetu. Kako telekom operatori u svojim ponudama imaju sve više atraktivnih sadržaja za krajnje korisnike tako globalna mrežna povezivost mora biti dostupna u interoperabilnom okružju. Radi toga raste potražnja za većim pristupnim brzinama koje operatori moraju osigurati krajnjim korisnicima. Kako su se xDSL tehnologije razvile do svoga maksimuma odnosno bakrena infrastruktura je maksimalno iskorištena na red je došlo implementiranje svjetlovodne infrastrukture koja nema ograničenja po pitanju maksimalnih brzina te je odlično rješenje za budućnost širokopojasnog pristupa Internetu [19].

4.1. Elementi svjetlovodne pristupne mreže

Svjetlovodna pristupna mreža se sastoji od aktivnih i pasivnih elemenata koji zajedno moraju tvoriti smislenu cjelinu kako bi mreža bila funkcionalna. Aktivnim elementima svjetlovodne mreže potrebno je stalno napajanje kako bi efikasno izvršavali svoje zadaće, dok pasivne elemente čine razdjelnici, optičke niti, spojnice, konektori i djelitelji, dakle elementi kojima nije potrebno napajanje električnom energijom kako bi funkcionirali. Kako se radi o svjetlovodnim mrežama na predajniku je potrebno električni signal pretvoriti u optički kako bi bio pogodan za prijenos ovakvom mrežom te ga na prijamniku opet pretvoriti u prvobitni električni signal. Takve uređaje zovemo optički linijski terminal odnosno optički mrežni terminal.

4.1.1. Optički linijski terminal

Uređaj koji električne signale govora ili podatka pretvara u optičke signale pogodne za prijenos svjetlovodnom mrežom nazivamo optički linijski terminal ili OLT. Paralelu možemo povući sa DSLAM uređajem u bakrenim pristupnim mrežama koji je poveznica između jezgrene i pristupne mreže. Naime, radi se o uređaju sličnom preklopniku koji radi na podatkovnoj i mrežnoj razini OSI modela. OLT je najčešće

pozicioniran u lokalnoj centrali telekom operatora tako da ga krajnji korisnici ne vide. Glavna zadaća optičkog linijskog terminala je kontrola toka prometa kroz pristupnu mrežu od i prema korisnicima. Prosječni OLT može opskrbiti do 128 optičkih mrežnih terminala. Najpoznatiji proizvođači su Huawei, Cisco i Alcatel-Lucent. Slika 9 prikazuje optički linijski terminal Huawei SmartAX MA5603T [19].



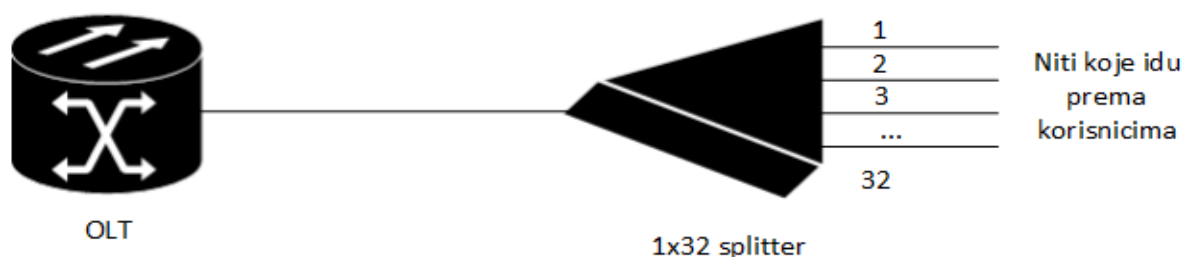
Slika 9. Optički linijski terminal - Huawei SmartAX MA5603T, [20]

4.1.2. Razdjelnik

Element koji igra ključnu ulogu u pasivnim optičkim mrežama je razdjelnik. Razdjelnik omogućava dijeljenje jedne optičke niti među velikim brojem krajnjih korisnika. Kako bi se omogućilo dijeljenje jedne optičke niti sa dolaza na više odlaznih potrebno je razdvojiti dolaznu svjetlosnu zraku u više svjetlosnih snopova na temelju karakteristika razdjelnika. Najbitniji parametri optičkog razdjelnika su razdjelni omjer, ulazna i izlazna valna duljina optičkog kabela te vrsta konektora koji se nalazi na razdjelniku.

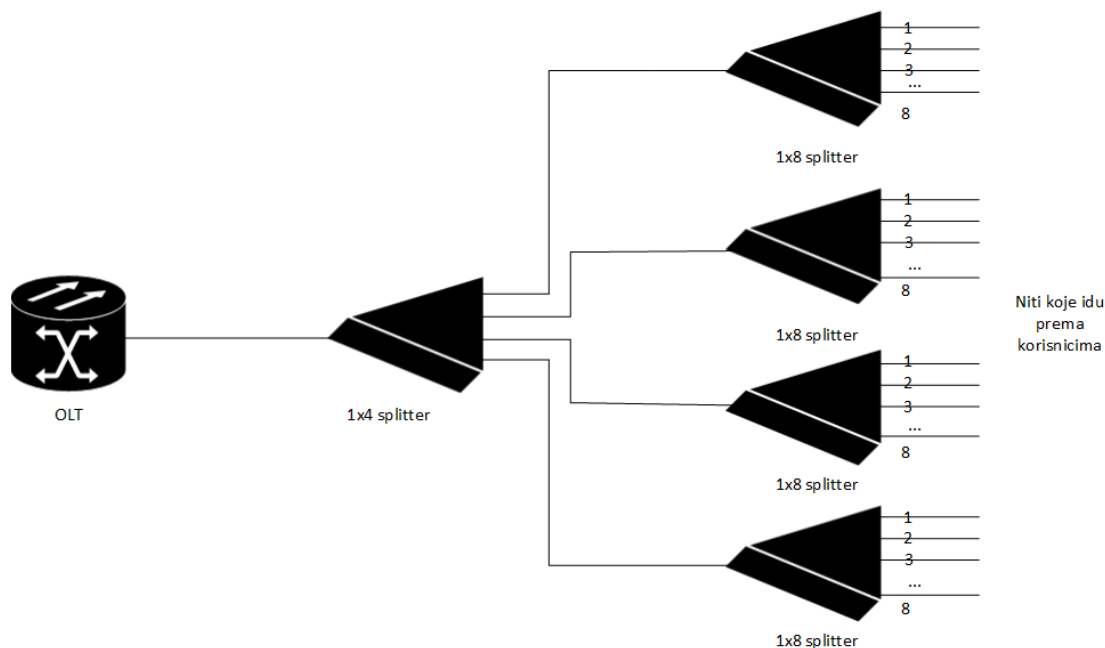
Optički razdjelnik može imati puno ulaznih i izlaznih priključaka radi maksimiziranja funkcionalnosti optičkih mreža. Kako bi znali kako će dolazna svjetlosna zraka biti podjeljena potreban nam je razdjelni omjer. Kao primjer na slici 10 je prikazan kako optički razdjelnik sa razdjelnim omjerom 1x32 može iz jedne dolazne svjetlosne zrake izdvojiti 32 svjetlosna snopa i proslijediti ih u 32 optička kabela. Ovaj

način razdjeljivanja dolazne svjetlosne zrake se naziva centralizirani razdjelnik. Maksimalna brzina nam isto ovisi o razdjelnom omjeru te u ovom primjeru, ako je maksimalna brzina na dolaznom optičkom kabelu 2000 Mbit/s, svaki odlazni kabel raspolaže brzinom od 62.5 Mbit/s [21].



Slika 10. Centralizirani razdjelnik, [21]

Pored centraliziranog razdjelnika postoji još i kaskadni razdjelnik koji povećava broj samih razdjelnika i broj prespoja između dolaznog optičkog kabela i krajnjih korisnika kako je prikazano na slici 11. Maksimalna brzina po samom odlaznom optičkom kabelu je manja jer je više puta dijeljena. Kako bi ovakav način razdjeljivanja optičkog signala imao smisla potrebno je na dolazni port dovesti signal sa velikom brzinom kako bi brzina kod krajnjeg korisnika bila zadovoljavajuća. Veći broj prespoja otežava dijagnostiku i povećava ukupnu cijenu i održavanje ovakvog sustava.



Slika 11. Kaskadni razdjelnik, [21]

U praksi je popularnije centralizirano postavljanje razdjelnika radi veće fleksibilnosti mreže, manjih operativnih troškova te lakšeg pristupa tehničara u slučaju kvara.

4.1.3. Optički mrežni terminal

Optički mrežni terminal ili ONT je mrežni uređaj koji dolazne optičke signale pretvara u električne i prosljeđuje ih najčešće ruteru koji signale dalje usmjerava prema svojoj tablici usmjeravanja. ONT se nalazi na posjedu krajnjeg korisnika i iako mu je potrebno napajanje kako bi svoju glavnu zadaću kvalitetno izvodio i sebi ima integriranu bateriju kako bi uslijed nestanka napajanja iz gradske mreže mogao nastaviti raditi određeni vremenski period bez poteškoća (slika 12).



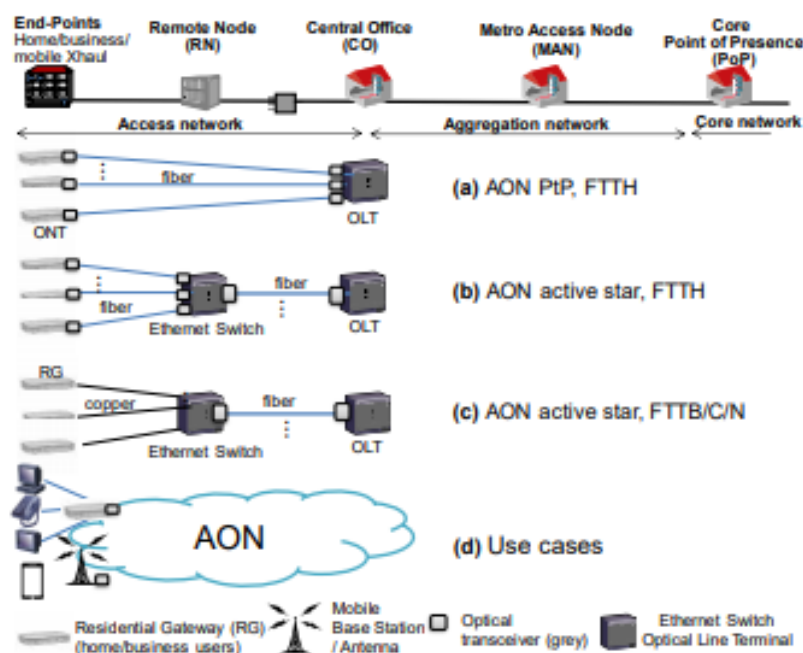
Slika 12. Optički mrežni terminal, [22]

4.2. Aktivna optička mreža

Aktivna optička mreža ili AON oslanja se na mrežnu opremu kojoj je potrebno napajanje električnom energijom za rad poput rutera i preklopnika. Svaki signal koji izlazi iz lokalne centrale je usmjeren samo prema jednom korisniku tako da ove ovakve

mreže često zovemo *point-to-point* mreže. Najčešći tip AON mreža naziva se aktivni Ethernet. Princip rada takve mreže temelji se na preklopnicima koji distribuiraju signale prema korisnicima čineći jednu veliku Ethernet mrežu. Lokalne mreže koje se koriste u tvrtakama i akademskim ustanovama su najčešće Ethernet mreže i njima su povezana računala i pisači dok kod aktivnih optičkih mreža povezujemo optičke mrežne terminale kod korisnika i lokalnu centralu.

Topologija aktivnih optičkih mreža može biti *point-to-point* ili zvijezda u FTTH ili FTTB izvedbi kako je prikazano na slici 13. Topologija *point-to-point* se najčešće koristi kod velikih poslovnih korisnika kojima su potrebne velike pristupne brzine i sinkrona veza za poslovanje. Tada se radi o prijenosnim brzinama do 1 Gbit/s. Topologija zvijezda u FTTH ili FTTB izvedbi se koristi kod rezidencijalnih i manjih poslovnih korisnika međutim nije toliko u upotrebi zbog ekonomske neisplativosti u odnosu na pasivne optičke mreže. Kod ovakve topologije radi se o prijenosnim brzinama do 100 Mbit/s [23].



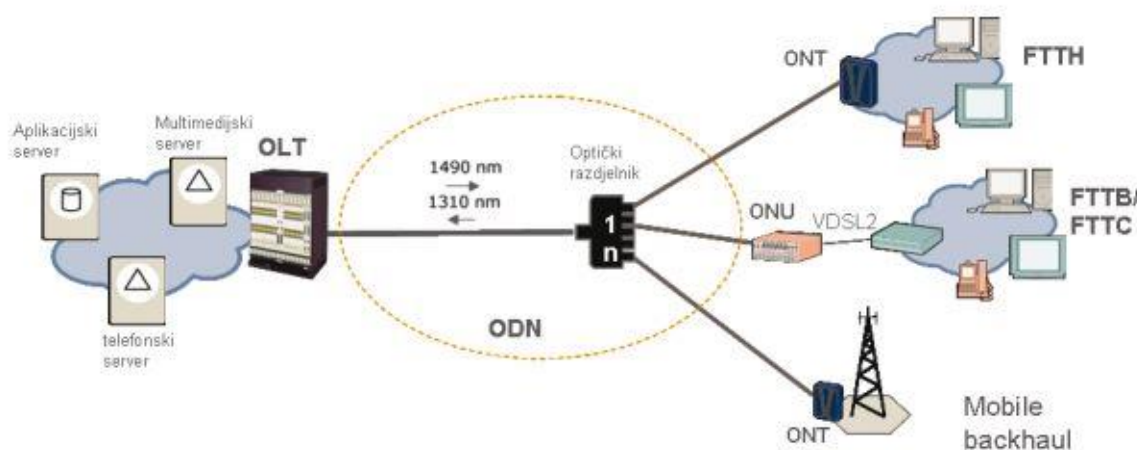
Slika 13. Topologije aktivne optičke mreže, [23]

4.3. Pasivna optička mreža

Najvažnija karakteristika pasivnih optičkih mreža je nepostojanje aktivnih elemenata u distribucijskoj mreži. Arhitektura pasivne optičke mreže prikazana je na slici 14. Pasivni razdjelnik koji se može nalaziti u blizini lokalne centrale odnosno OLT-

a ili bliže krajnjim korisnicima, ovisno o raspoloživosti optičke infrastrukture i strategiji implementacije PON-a, razdvaja dolazni svjetlosni signal na više svjetlosnih snopova koje distribuira kroz zasebne optičke kabele za prijenos prema krajnjim korisnicima. Sprežnik je element pasivne mreže koji obavlja suprotnu funkciju odnosno udružuje svjetlosne signale od korisnika u jedan signal te ga distribuira glavnim optičkim kabelom prema lokalnoj centrali odnosno OLT-u. Dakle, u smjeru od korisnika prema mreži se koristi tehnika višestrukog pristupa sa vremenskom raspodjelom (TDMA) kako bi se izbjeglo miješanje signala od različitih korisnika dok se podaci u smjeru prema korisniku prenose načelom razašiljanja (broadcast). Maksimalna brzina ovisi o broju krajnjih korisnika, međutim broj korisnika u velikoj većini slučajeva ne prelazi 64. Velika prednost PON mreža je što mogu korisnicima ponuditi razne brzine prijenosa bez promjena vitalnih elemenata same mreže što vlasnicima same infrastrukture, najčešće telekom operatorima smanjuje operativne troškove [24].

U PON mrežama razlikujemo četiri standarda koji su u upotrebi. Svi standardi rade na sličnim principima. Koriste valni multipleks za rad u potpunom duplexu preko jednog optičkog vlakna. Za dolazni smjer se koristi valna duljina od 1490 nm, za odlazni smjer se koristi valna duljina od 1310 nm, dok se za razašiljanje TV signala koristi posebna valna duljina od 1550 nm [24].



Slika 14. Arhitektura pasivne optičke mreže, [24]

4.3.1. APON i BPON

APON (eng. ATM – Asynchronous Transfer Mode PON) koristi se ATM protokol nad fizičkim slojem. APON spada među prve standarde za primjenu u pasivnim

optičkim mrežama. Tehnologija se bazira na prijenosu podataka u ćelijama koje su točno određene dužine. Zasnovan je na TDM načinu multipleksiranja. Brzine koje podržava APON kreću se do 622 Mbit/s u dolaznom smjeru i do 155 Mbit/s u odlaznom smjeru. Domet prijenosa iznosi do 20km [21].

BPON (eng. Broadband Passive Optical Network) ili širokopojasna pasivna optička mreže temelji se na preporuci koja je definirana ITU-T G.983 standardom. Možemo reći da je ovo unaprijeđeni APON standard iz razloga što se temelji na istom protokolu, ATM. Glavna poboljšanja su očita u prijenosnim brzinama gdje maksimalne brzine iznose 1.24 Gbit/s u dolaznom smjeru i 622 Mbit/s u odlaznom smjeru. BPON standard je uveden s ciljem kako bi se mogle standardizirati i neke nove širokopojasne usluge putem optičkim mreža koje nije podržavao APON standard, primjerice video distribucija [25].

4.3.2. EPON

EPON (eng. Ethernet PON) je najatraktivniji standard PON mreža radi primjene Ethernet protokola. Baziran na IEEE 802.3 standardu, EPON 802.3ah specificira pasivnu mrežu koja koristi iste valne duljine kao i ostali PON standardi. Ethernet paket se razašilje od strane OLT kroz mrežu te se na prijemnoj strani razvrstava prema MAC adresi od strane ONT/ONU mrežnog uređaja. Raspon Ethernet PON mreža je do 20 km. Nudi simetričnu prijenosnu brzinu od 1.25 Gbit/s u smjeru od korisnika ka mreži i u smjeru ka korisniku. EPON mrežu koja raspolaže brzinama od 1 Gbit/s još zovemo GEPON (eng. Gigabit Ethernet PON). EPON mreže su u potpunosti kompatibilne i interoperabilne sa ostalim Ethernet standardima, tako da nema potrebe za dodatnim enkapsulacijama ili konverzijama kada se priključuju na Ethernet bazirane mreže [26].

Također postoji 10 Gigabitna verzija EPON standarda označena sa 802.3av. Stvarna maksimalna prijenosna brzina iznosi 10.3125 Gbit/s, dok primarni mod omogućava simetrični prijenos od 10 Gbit/s. 10 Gigabitna verzija EPON standarda koristi različite valne duljine, 1575 do 1580 nm u smjeru ka korisniku i 1260 do 1280 nm od korisnika ka mreži [26].

4.3.4. GPON

GPON (eng. Gigabit PON) je evolucija BPON standarda koji podržava velike brzine prijenosa, poboljšanu sigurnost i veću efikasnost kod prijenosa različitih vrsta informacijsko komunikacijskog prometa. GPON je standardiziran serijom preporuka ITU-T 984.x koji je detaljno prikazan u tablici 3.

Tablica 3. GPON standardizacija

ITU-T standard	Datum donošenja	Opis
G.984.1	03-2003; 03-2008	Osnovna svojstva GPON mreža
G.984.2	03-2003	Specifikacije fizičkog sloja
G.984.3	03-2004; 03-2008	Specifikacije prijenosnog sloja
G.984.4	06-2004; 02-2008	Specifikacije sučelja za upravljanje i kontrolu ONT-ova
G.984.5	09-2007	Napredni pojas valnih duljina
G.984.6	03-2008	Produljenje dometa

Izvor: [26]

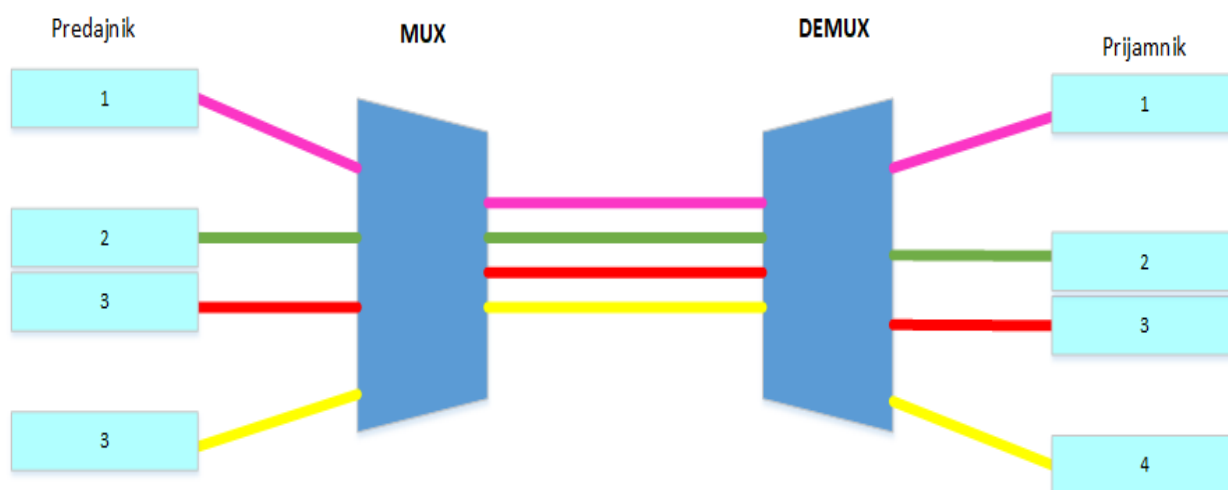
GPON koristi WDM način multipleksiranja što znači da jedna nit može biti korištena za dolazni i odlazni promet. Pasivne mreže zasnovane na ovoj tehnologiji omogućavaju maksimalne prijenosne brzine od 2.488 Gbit/s u smjeru ka korisniku i 1.244 Gbit/s u smjeru od korisnika ka mreži. Promet ka korisniku se distribuira na valnim duljinama od 1490 nm dok se promet od korisnika ka mreži distribuira na valnoj duljini od 1310 nm. Kako i kod ostalih PON tehnologija tako je i ovdje valna duljina od 1550 nm rezervirana za prijenos video sadržaja. Jedno optičko vlakno se najčešće dijeli pasivnim optičkim djelitelem u omjeru 1:32 ili 1:64 što znači da jedno vlakno može poslužiti 32 ili 64 korisnika. Također omjer dijeljenja 1:128 je moguć u specijalnim slučajevima [26].

Posljednja verzija GPON standarda definirana ITU-T preporukom G.987 naziva XGPON ili 10G-PON. Kako ponuda OTT usluga raste postoji velika potreba za povećanjem mrežnih kapaciteta koji bi mogli opslužiti veliki broj korisnika. Maksimalne prijenosne brzine XGPON tehnologije u smjeru ka korisniku je 10 Gbit/s, a u smjeru od korisnika 2.5 Gbit/s. Povećanje prijenosnih brzina omogućavaju potpuno nove valne

duljine, 1577 nm za smjer ka korisniku i 1270 nm za smjer od korisnika prema mreži. Maksimalna udaljenost lokalne centrale od krajnjih korisnika je i dalje ista, 20 km [26].

4.4. WDM

Multipleksiranje po valnim duljinama je tehnologija koja predstavlja veliko dostignuće u informacijsko komunikacijskim mrežama. Ostvarivanje velikih brzina na velikim udaljenostima je najveća prednost korištenja WDM tehnologije. WDM funkcionira na principu da multipleksira više optičkih nosioca signala na jedno optičko vlakno koristeći različite valne duljine. Svakom optičkom signalu WDM tehnologijom se pridružuje posebna frekvencija unutar određenog pojasa. Kako bi se svi optički signali združili i poslali kroz jednu optičku nit na odašiljačkoj strani se koristi multipleksor (OLT) te demultipleksor (ONT/ONU) na prijemnoj strani kako bi razdvojio optičke signale kako je prikazano slikom 15 [27].



Slika 15. Multipleksiranje po valnim duljinama, [27]

Razvijena su dva WDM sustava:

- 1.DWDM (Dense – WDM)
- 2.CWDM (Coarse – WDM)

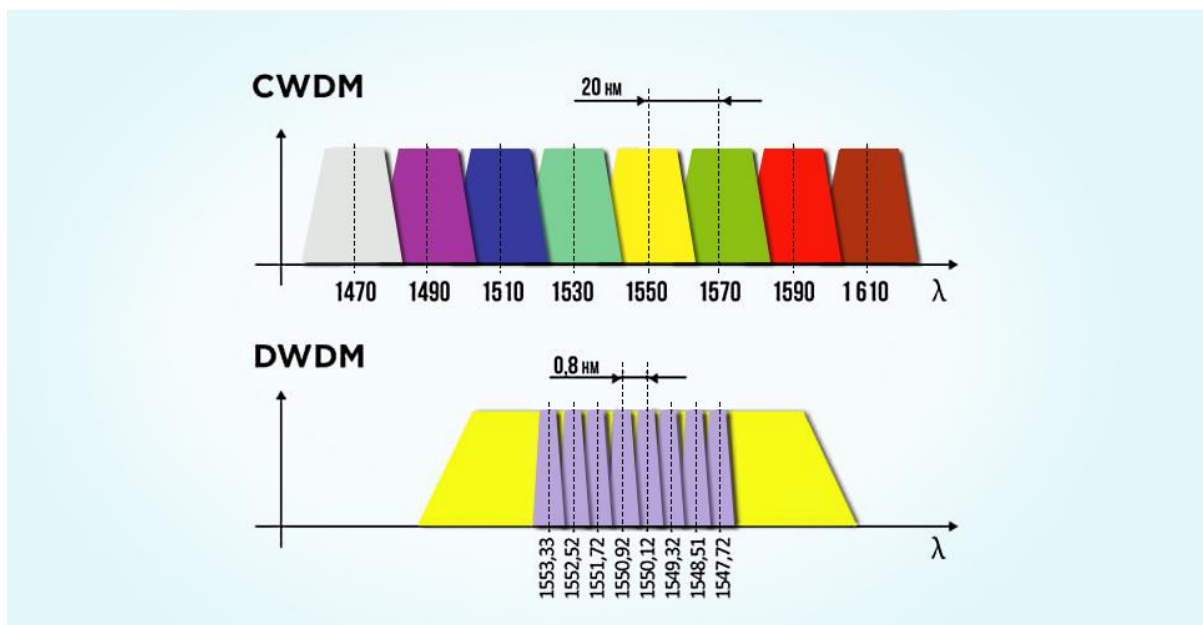
DWDM

Tehnika s gustom podjelom kanala funkcionira u području 1530 - 1565 nm i 1565 - 1625 nm (slika 16). DWDM tehnika je sposobna prenositi do 560 kanala, a broj

kanala ovisi o među kanalnom razmaku koji definira ITU-T u preporuci G.964.1. Brz razvoj lasera i filtera su omogućili implementaciju relativno skupe tehnike kako bi se zadovoljio veliki rast prometa i potreba za većim prijenosnim kapacitetima kako bi se zadovoljio konstantan porast korisnika. Uporabom optičkih pojačala DWDM tehnika je sposobna isporučivati velike brzine na udaljenostima do 1000 km. U direktnoj usporedbi sa CWDM tehnikom implementacija DWDM-a na manjim udaljenostima je neisplativa radi velikih operativnih troškova, skupih mrežnih uređaja te složenosti samog sustava u odnosu na CWDM. Sustavi koji se temelje na DWDM tehnici koriste jednomodna optička vlakna koja su tanja i omogućavaju prostiranje samo jedne svjetlosne zrake čime se osigurava manje slabljenje signala i prijenos na većim udaljenostima [27].

CWDM

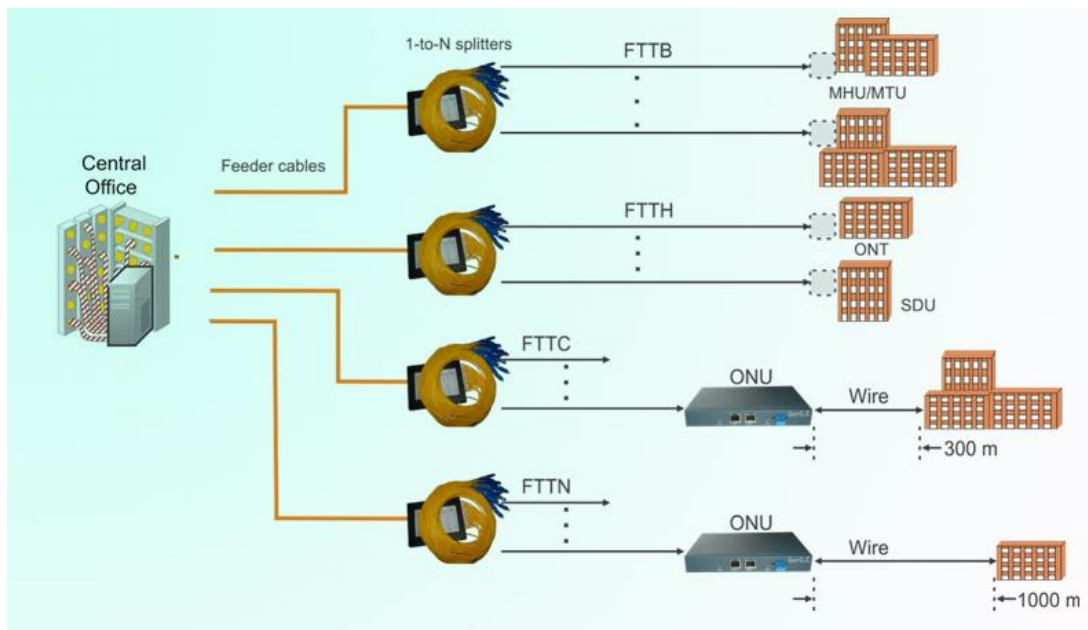
Tehnika sa grubom podjelom kanala standardizirana 2002. godine ITU-T preporukom G.694.2. Valne duljine koje se koriste CWDM tehnikom su od 1270 do 1610 nm te sa 18 kanala (slika 16). CWDM predajnici koriste LED diode umjesto lasera kao kod DWDM tehnike te zbog toga njihov maksimalni domet opada na par stotina metara. Telekom operatori najčešće primjenjuju CWDM tehniku kod svojih agregacijskih i pristupnih mreža radi manjeg troška izgradnje, manjih operativnih troškova, jednostavnijeg projektiranja te jeftinijih mrežnih uređaja potrebnih za funkcioniranje mreže temeljene na CWDM tehnici. Sustavi temeljeni na CWDM tehnici koriste višemodna optička vlakna koja imaju mogućnost transportiranja više svjetlosnih zraka te su deblja od jednomodnih vlakana [27].



Slika 16. Prikaz valnih duljina CWDM i DWDM tehnika, [27]

4.5. Arhitekture FTTx mreža

Omogućavanje velikih prijenosnih brzina te povećanje dometa uvijek je predstavljalo veliki problem u komunikacijskim mrežama. Kako su svi kapaciteti bakrenih mreža iskorišteni sa VDSL2+ tehnologijom telekom operatori su bili prinuđeni ponuditi korisnicima nove tehnologije kako bi korisnici mogli koristiti atraktivne usluge. Rješenje problema je pronađeno u zamjenjivanju dijela ili cijele postojeće bakrene petlje. Visoka cijena implementacije te regulatorni problemi su predstavljali veliki problem telekom operatorima no velika potražnja za većim prijenosnim brzinama je prevagnula. PON tehnologija je favorit većih telekom operatora te su se oni strašno trudili dokazati njene prednosti nad AON P2P tehnologijom koju su favorizirali manji operatori gdje se jedna mreža dijeli na načelima jednakih mogućnosti pristupa što znači neovisnu optičku infrastrukturu kojom upravlja neovisan operator. FTTx mreže dijelimo na više vrsta, a razlikuju se u arhitekturi i tehnologijama koje se koriste za funkcioniranje tih pristupnih mreža kako je prikazano na slici 17 [3].



Slika 17. FTTx vrste pristupa, [28].

FTTx mreže dijelimo:

1. FTTN – nit do čvora
2. FTTB – nit do zgrade
3. FTTC – nit do pločnika
4. FTTH – nit do kuće

4.5.1. FTTN

Vrsta pristupne mreže gdje se postojeći bakreni dio pristupne mreže ostavlja za povezivanje krajnjeg korisnika i optičke mreže. Čvor koji se nalazi blizu zgrada i kuća u naseljima je ONU uređaj koji zapravo glumi VDSL2 centralu te shodno tome krajnji korisnici koriste VDSL2 tehnologiju. ONU se nalazi maksimalno 1000 m od korisnika koji su spojeni na njega kako bi im prijenosne brzine mogle biti maksimalne. Ovaj način implementiranja optike je najisplativiji jer se ostavlja dobar dio postojeće bakrene mreže aktivnim [28].

4.5.2. FTTC

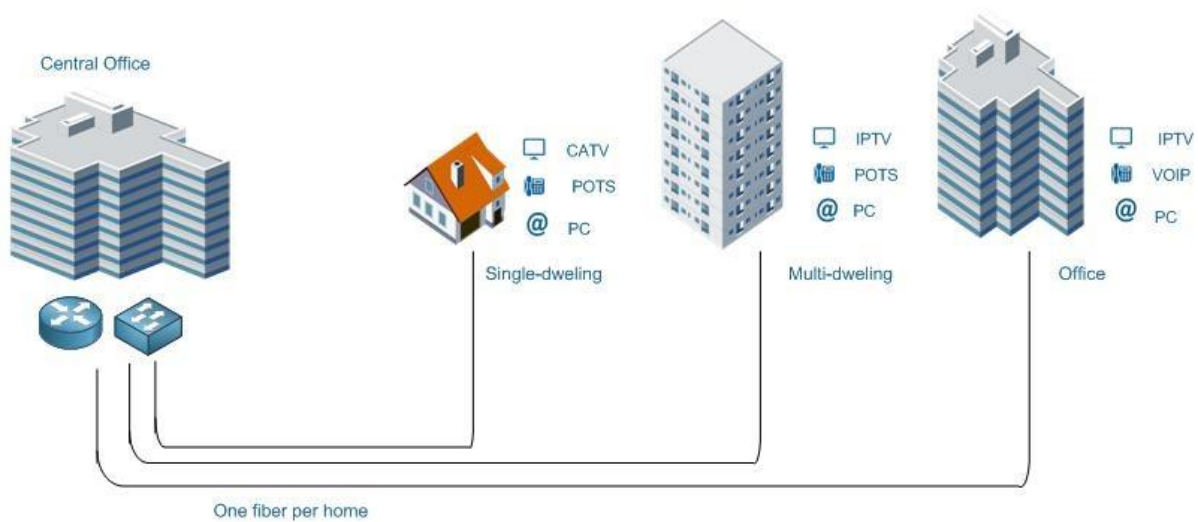
Najpopularnija vrsta optičkih mreža u Republici Hrvatskoj je FTTC. Dovođenje optičke niti do pločnika i osiguravanje korisnicima koji su ranije imali poteškoće sa prijenosnim brzinama povećanje istih. Telekom operatori u Hrvatskoj uvođenje ove tehnologije popularno nazivaju skraćivanje petlje iz razloga što više optičkih kabineta povezuju na postojeću lokalnu centralu te ih približavaju korisnicima koji su dosta udaljeni od samih lokalnih centrala. Kao i kod FTTN tehnologije korisnici koriste VDSL ili VDSL2+ tehnologiju za pristup Internetu. Udaljenost kabineta od korisnika je oko 600 m.

4.5.3. FTTB

Kako bi povećali prijenosne brzine korisnicima koji žive u stambenim zgradama razvijen je FTTB način pristupa. Mreža oprema se postavlja u lokalnoj centrali i na korisničkom posjedu gdje ONU konvertira optičke signale u električne te ih šalje prema VDSL2+ modemu. Veza između lokalne centrale odnosno OLT-a i ONU-a je P2P dok je veza između ONU-a i korisnika P2MP, dakle jedan ONU opslužuje više korisnika. FTTB način pristupa je sličan FTTH uz iznimku da kod FTTH optička nit dolazi direktno do korisnika u stan ili kuću [29].

4.5.4. FTTH

Kao što je ranije navedeno FTTH je vrsta pristupa Internetu preko optičke mreže gdje optička nit dolazi u korisnikov stan ili kuću. Ovaj način pristupa također je poznat pod nazivom FTTP. Kao i kod svih ostali optičkih izvedbi pristupnih mreža radi se PON tehnologiji gdje se koristi pasivni optički razdjelnik koji najčešće dijeli svjetlosni signal u omjeru 1:32. Kao i kod ostalih vrsta pristupa preko optičke mreže za dvosmjernu komunikaciju se koristi najčešće jedna optička nit, a dolazni i odlazni promet se razlikuju u valnim duljinama. Najjednostavniji oblik FTTH mreže je P2P, koji svakom korisniku garantira zasebnu nit preko koje obavlja odlazni i dolazni promet kao što je vidljivo na slici 18. Međutim ovaj oblik mreže je najskuplji stoga se samo primjenjuje kod korisnika koji imaju velike zahtjeve po pitanju propusnosti.

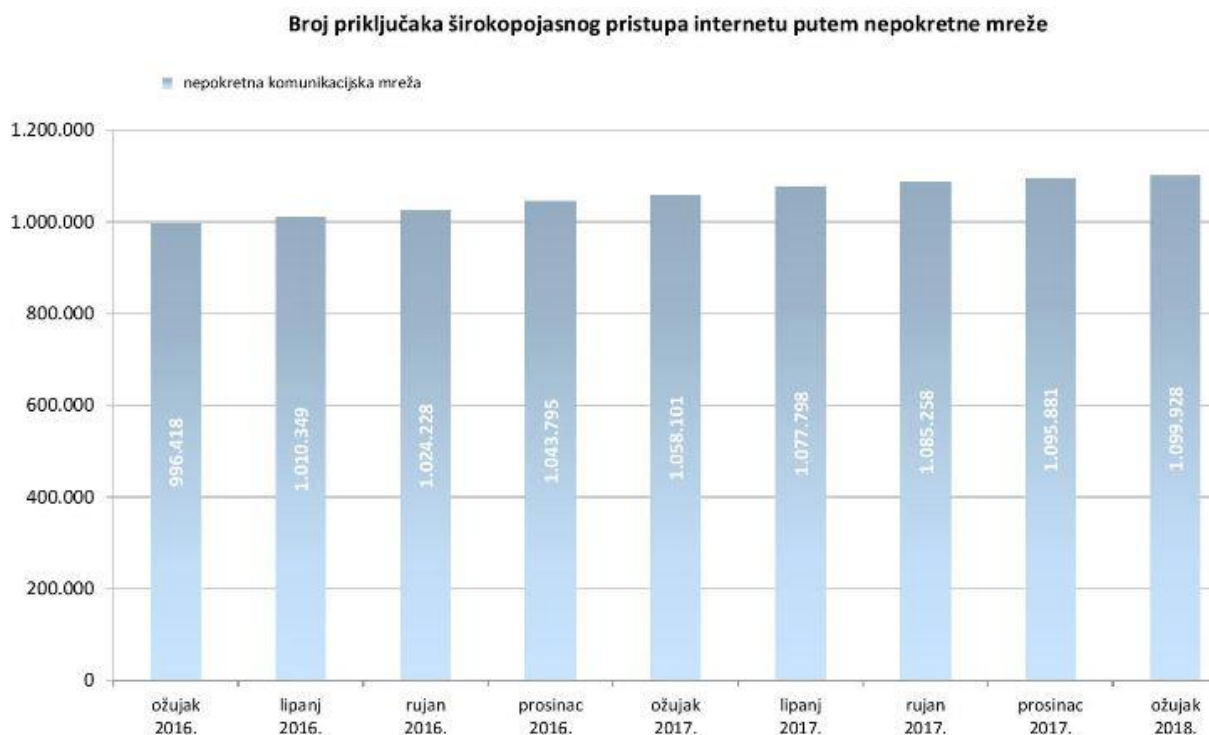


Slika 18. FTTH P2P topologija, [29]

5. STANJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA INTERNETU U REPUBLICI HRVATSKOJ

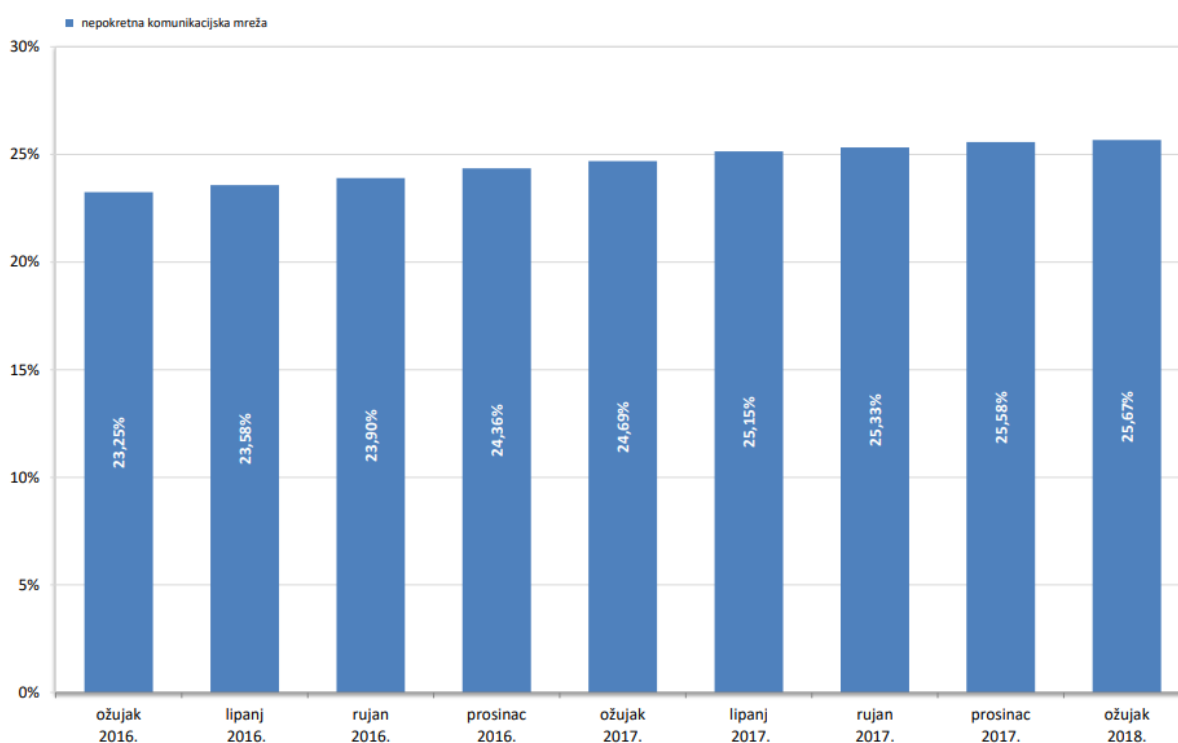
Razvojem informacijsko-komunikacijskih tehnologija pristup Internetu je u posljednjih nekoliko godina iz luksuza koje si je mogao priuštiti malo koji građanin Republike Hrvatske prerastao u osnovni alat koji je potreban za rad, edukaciju i informiranje. Veliki porast ponude atraktivnih usluga telekom operatora koje privlače korisnike ojačava sektor informacijsko-komunikacijskih tehnologija koji svakom godinom sve više ima udjela u bruto nacionalnom dohotku.

Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti (HAKOM) redovno prikuplja podatke o stanju telekom tržišta na tromjesečnoj bazi u Republici Hrvatskoj. Slikom 19 su prikazani tromjesečni podaci o broju priključaka u nepokretnoj mreži. Kako je vidljivo u dijagramu broj priključaka nepokretne mreže iz godine u godinu raste eksponencijalno. U ožujku 2018. godine zabilježen je podatak o 1 099 928 priključaka što je 41 827 priključaka više nego u istom razdoblju prošle godine. To povećanje je drastično veće ako podatak o broju priključaka nepokretne mreže usporedimo sa istim razdobljem 2016. godine, što nas dovodi do 103 510 novih priključaka, a to je povećanje od 9,411% [30].



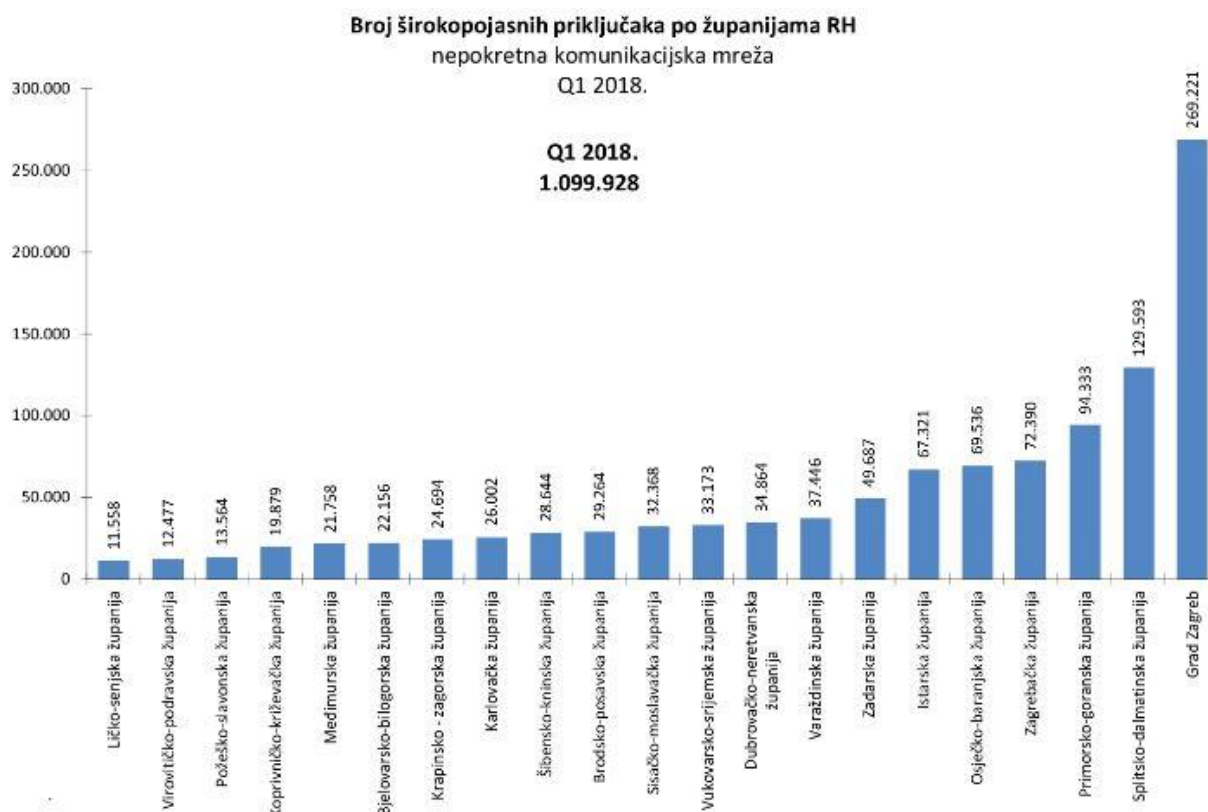
Slika 19. Broj priključaka širokopojasnog pristupa Internetu putem nepokretne mreže, [30]

Međutim kako raste broj priključaka nepokretne mreže tako i raste gustoća priključaka širokopojasnog pristupa Internetu putem nepokretne mreže (slika 20.). Naime, kako broj stanovnika Republike Hrvatske ostaje približno isti ili se u nažalost smanjuje, gustoća priključaka raste. Rast je također eksponencijalne distribucije i možemo zaključiti kako je direktno povezan sa rastom broja priključaka. Gustoća širokopojasnih priključaka u ožujku ove godine iznosila je 25,67% što ukazuje na značajne mogućnosti za rast u nepokretnoj mreži [30].



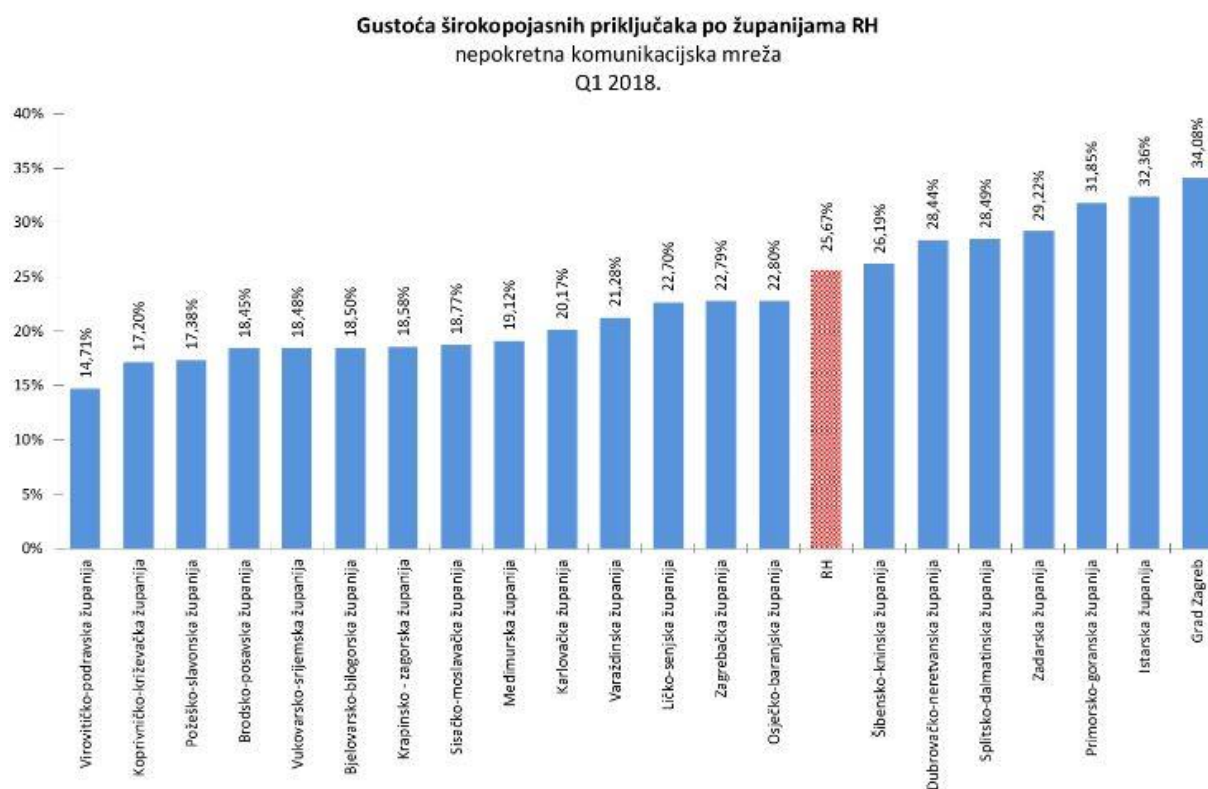
Slika 20. Gustoća priključaka širokopojasnog pristupa Internetu putem nepokretne mreže, [30]

Rast broja priključaka nažalost nije isti na svim područjima Republike Hrvatske. Urbana područja imaju znatno veći broj priključaka širokopojasnog pristupa Internetu putem nepokretne mreže nego ruralna, što dovodi do velikog digitalnog jaza između urbanih i ruralnih područja. Slika 21 prikazuje broj širokopojasnih priključaka po županijama u Republici Hrvatskoj. Jasno je vidljivo kako je najveći broj priključaka u glavnom gradu Zagrebu koji je najurbanije područje u Hrvatskoj, a iznosi 269,221 što je velikih 24,476% od ukupnog broja priključaka u Republici Hrvatskoj. Najmanji broj priključaka izmjeren je u Ličko-senjskoj županiji i iznosi tek 11 558. Međutim već je velika razlika između županije sa najvećim brojem priključaka i druge po redu Splitsko-dalmatinske županije koja broji samo 129 593 priključka [30].



Slika 21. Broj širokopojsnih priključaka po županijama, [30]

Međutim kako gustoća priključaka ovisi o broju stanovnika na određenom području Ličko-senjska županija ima zadovoljavajuću gustoću priključaka u odnosu na ostale županije što je vidljivo na slici 22. Županija Grad Zagreb koja je se najvećim brojem stanovnika na najmanjoj površini ima relativno nisku gustoću priključaka te je vidljiv veliki potencijal za rast u narednom vremenskom periodu.



Slika 22. Gustoća širokopojasnih priključaka po županijama [30].

Kada govorimo o broju priključaka širokopojasnog pristupa Internetu putem nepokretne mreže ovisno o tehnologiji tada vidimo da je pristup Internetu putem bakrenih mreža prevladava u Republici Hrvatskoj (tablica 4.).

Tablica 4. Broj priključaka širokopojasnog pristupa ovisno o korištenoj tehnologiji

Širokopojasni pristup Internetu u Republici Hrvatskoj	Prvo tromjesečje 2018.	% promjena Q1 2018.– Q1 2017.
Broj priključaka širokopojasnog pristupa putem nepokretnih mreža	1099928	3,95%
Broj priključaka putem vlastite bakrene pristupne mreže	431189	-4,04%
Broj xDSL priključaka putem izdvojenog pristupa lokalnoj petlji	169683	-8,97%
Broj xDSL priključaka putem zajedničkog (dijeljenog) pristupa lokalnoj petlji	49	-44,94%
Broj FttX priključaka putem vlastite infrastrukture	82550	37,68%
Broj priključaka putem usluge bitstream pristupa (xDSL, FttX)	156551	-5,71%
Broj priključaka putem kabelskih mreža	157169	6,54%
Broj priključaka putem bežičnih tehnologija u nepokretnoj mreži	99437	117,60%
Broj priključaka putem ostalih tehnologija pristupa	3300	8,13%

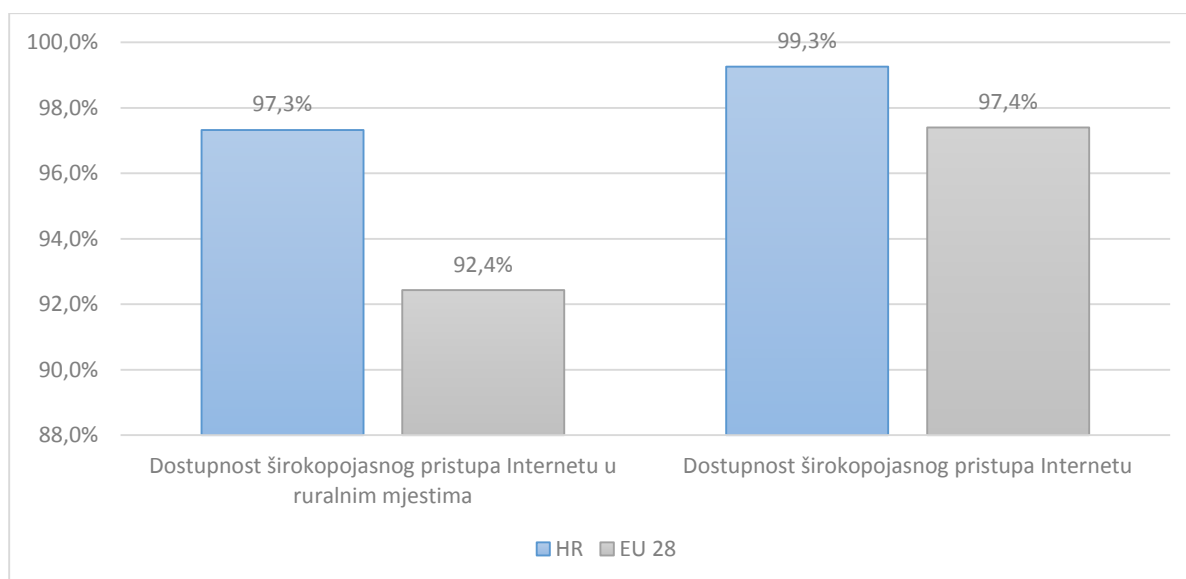
Izvor: [30]

U tablici 4 je vidljiva korištena tehnologija za širokopojasni pristup Internetu putem nepokretne mreže ovisno o tehnologiji koju operator nudi. Broj priključaka putem vlastite bakrene pristupne mreže čini većinu priključaka međutim promjena od -4,04% u odnosu na isto razdoblje prošle godine dobar je pokazatelj da operatori moderniziraju javnu komunikacijsku mrežu. Tome u prilog također ide podatak da je broj FTTx priključaka putem vlastite infrastrukture porastao za velikih 37,68% u odnosu na isto razdoblje prošle godine. Taj podatak ne znači da veliki dio bakrene pristupne mreže zamijenjen novim, već da operator koji ima vlasništvo nad velikim dijelom bakrene pristupne mreže radi na skraćivanju iste uvodeći FTTC i FTTB način pristupa kako bi prijenosni kapaciteti bili veći [30].

Broj priključaka putem izdvojenog pristupa lokalnoj petlji je veleprodajna usluga koja telekom operatoru omogućava uporabu cijelog frekvencijskog spektra lokalne petlje koju je unajmio od vlasnika te iste lokalne petlje, dok usluga dijeljenog pristupa lokalnoj petlji operatoru omogućava korištenje širine pojasa frekvencijskog spektra iznad govornog pojasa frekvencijskog spektra izdvojene lokalne petlje dok govorni pojas frekvencijskog spektra izdvojene lokalne petlje upotrebljava vlasnik te iste izdvojene lokalne petlje za pružanje javno dostupnih telefonskih usluga. U slučaju Republike Hrvatske vlasnik velikog dijela bakrene pristupne mreže je Hrvatski Telekom. Usluga *bitstream* će biti detaljno opisana u nastavku rada [31].

5.1. Usporedba s državama Europske unije

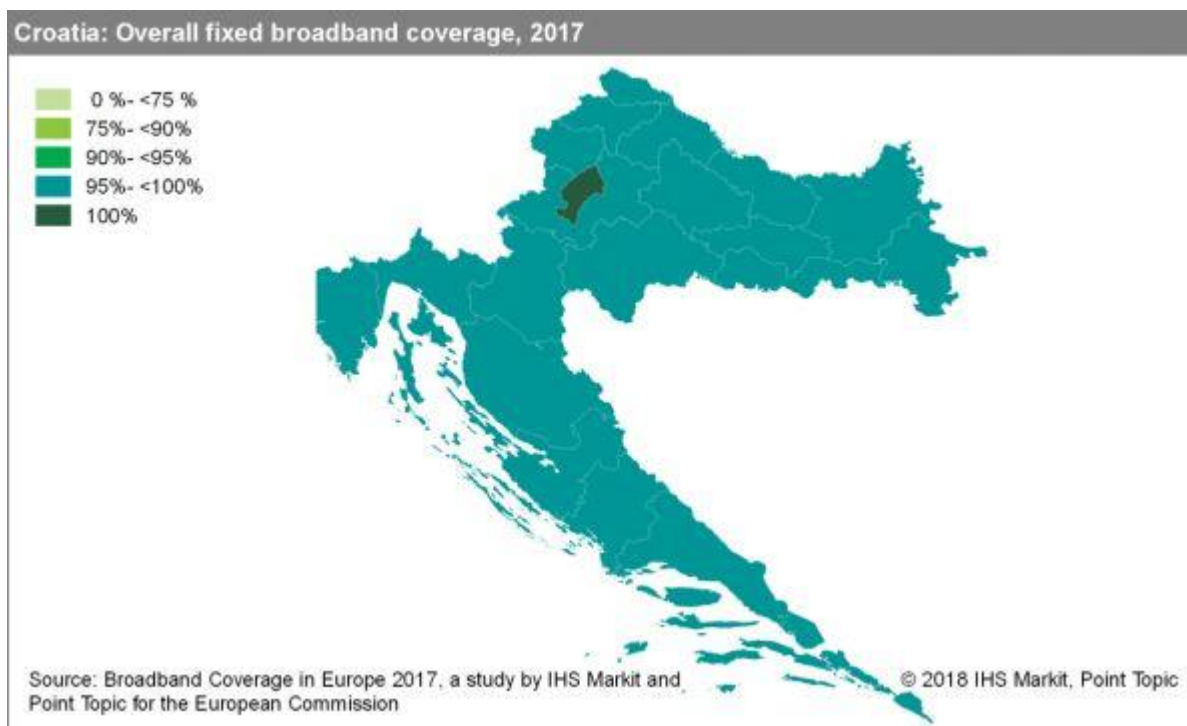
Pošto je Republika Hrvatska članica Europske unije u ovom poglavlju je prikazana usporedba razvijenosti javne komunikacijske mreže u Republici Hrvatskoj u odnosu na države članice Europske unije. Kada govorimo o dostupnosti širokopojasnog pristupa Internetu putem nepokretne mreže, Republika Hrvatska kao i većina država članica Europske unije, omogućava čak 99,3% stanovništva širokopojasni pristup Internetu putem nepokretne mreže (grafikon 5). U ruralnim područjima Republika Hrvatska je bolje pokrivena javnom nepokretnom komunikacijskom mrežom nego što je europski prosjek.



Grafikon 5. Dostupnost širokopojasnog pristupa Internetu putem nepokretne mreže

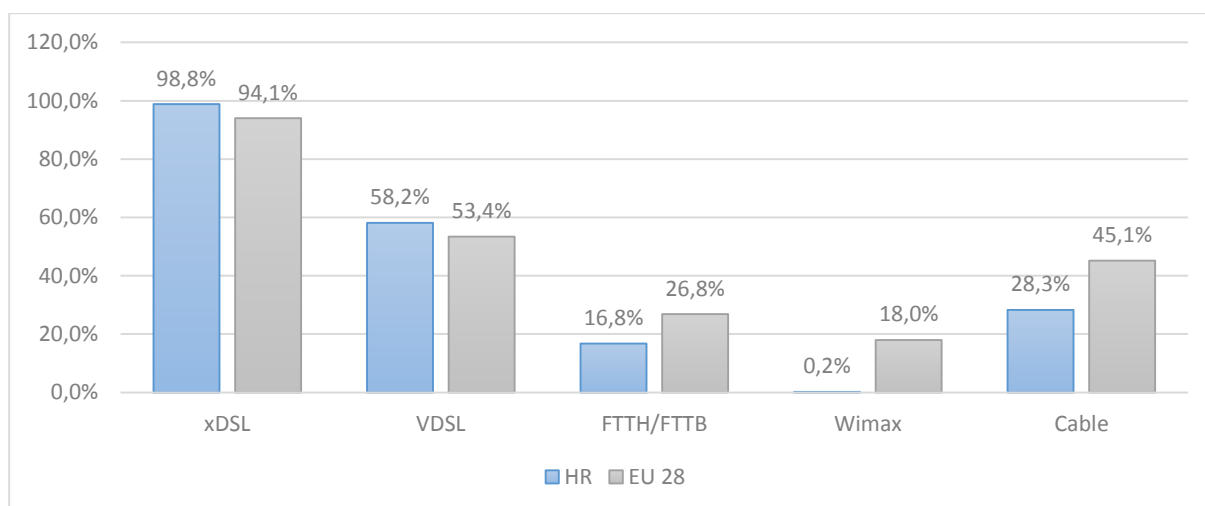
Izvor: [33]

Dostupnost širokopojasnog pristupa Internetu putem nepokretne mreže također možemo vidjeti na slici 23 koja prikazuje kartu Republike Hrvatske. Odlična pokrivenost cijelog teritorija sa javnom nepokretnom komunikacijskom mrežom omogućuje korisnicima pristup Internetu bez obzira da li se nalazili u urbanim ili ruralnim dijelovima Republike Hrvatske. Iz slike je također vidljivo kako županija Grad Zagreb je 100% pokrivena sa javnom nepokretnom komunikacijskom mrežom opravdavajući tako uložena sredstva telekom operatora u proširenje pokrivenosti na razini glavnog grada.



Slika 23. Dostupnost širokopojasnog pristupa Internetu putem nepokretne mreže u Republici Hrvatskoj – karta, [32]

Iz ranije navedenih slika vidimo da je Republika Hrvatska dobro pokrivena javnom nepokretnom komunikacijskom mrežom no nije nam prikazano koje tehnologije su najviše zastupljene u Republici Hrvatskoj i Europskoj uniji. Grafikon 6 nam vjerno pokazuje kako je bakrena pristupna mreža najraširenija u Republici Hrvatskoj te je uz bok prosjeku Europske unije. Međutim, problem je slaba razvijenost svjetlovodnih mreža koje su ispod europskog prosjeka sa svega 16,8%. Kabelska mreža sa svojih 28,3% stoji dobro ponajviše zahvaljujući B.net operatoru koji sve svoje usluge bazira na pristupu putem koaksijalnih kabela.

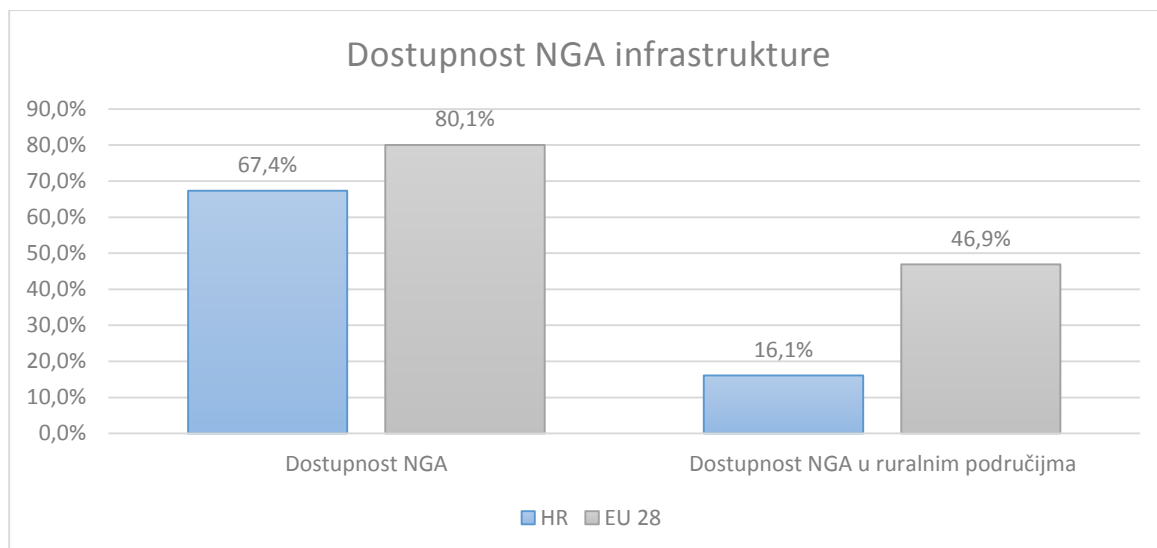


Grafikon 6. Dostupnost širokopojasnog pristupa Internetu u nepokretnoj mreži prema korištenoj tehnologiji

Izvor: [33]

5.2. Razvoj NGA infrastrukture u Republici Hrvatskoj

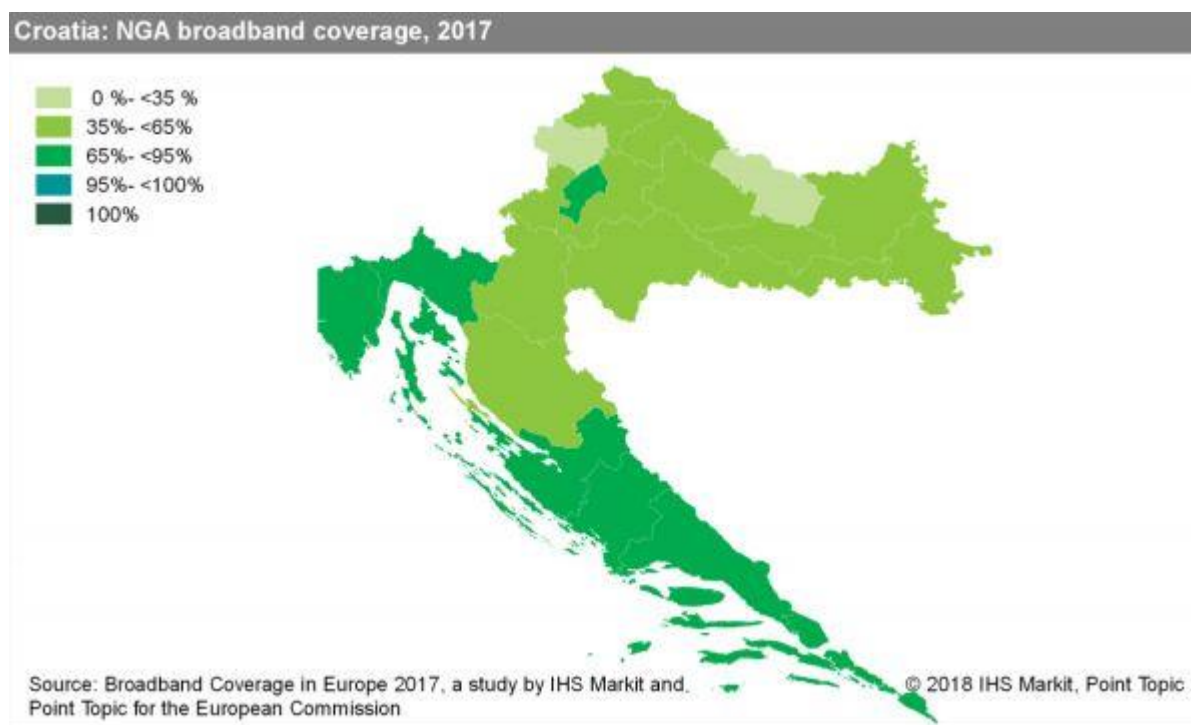
Implementacija NGA širokopojasne infrastrukture ide nezadovoljavajućom brzinom. Prema mjerodavnim pokazateljima Europske komisije iz 2017. godine Republika Hrvatska se nalazi na dnu država članica. Dostupnost NGA infrastrukture u razvijenim dijelovima Republike Hrvatske iznosi 67,4%. Prosječna dostupnost NGA infrastrukture u država članicama Europske unije iznosila je 80,1%, kako je prikazano na grafikonu 7. U ruralnim područjima dostupnost NGA infrastrukture je malih 16,1% dok je europski prosjek 46,9% što postavlja zadatak Republici Hrvatskoj da u ruralna područja implementira NGA infrastrukturu kako bi smanjili digitalni jaz između urbanih i ruralnih dijelova. NGA infrastruktura obuhvaća VDSL, DOCSIS 3, FTTH, FTTB, FTTC i ostale pristupne tehnologije koje omogućavaju brzine veće od 30 Mbit/s [32].



Grafikon 7. Dostupnost NGA infrastrukture

Izvor: [33]

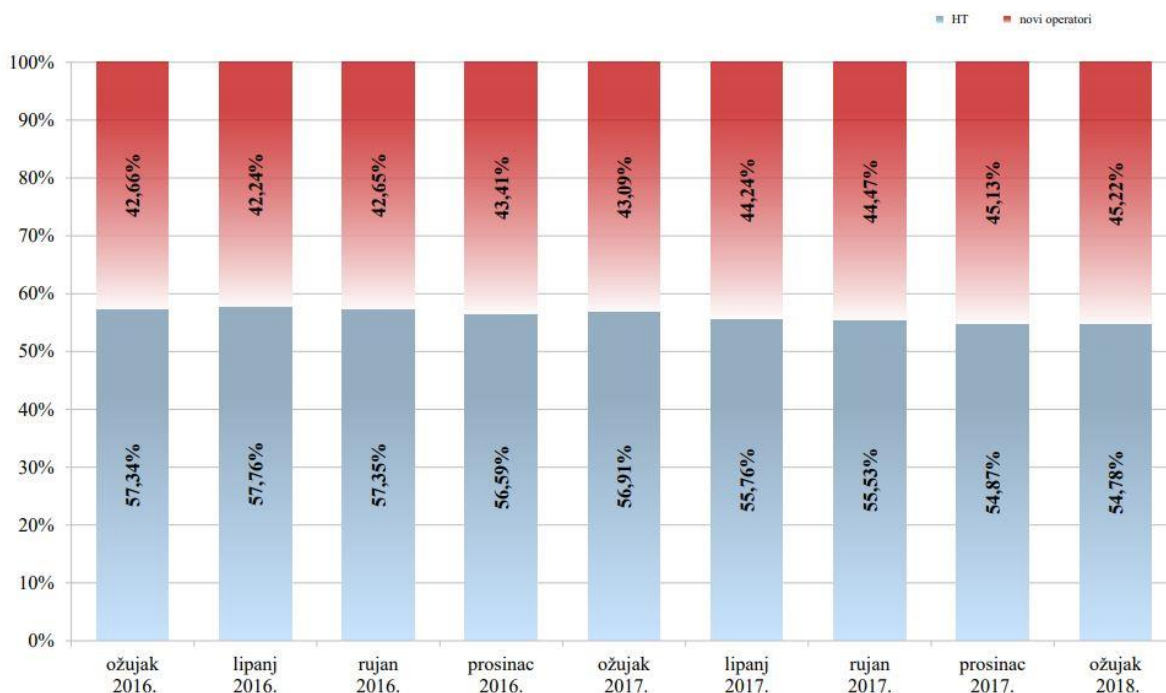
Na slici 24 možemo vidjeti dostupnost NGA infrastrukture na karti Republike Hrvatske. Županije Krapinsko-zagorska i Virovitičko-podravska imaju dostupnost manju od 35% NGA infrastrukture dok veći dio Dalmacije, Kvarnera i Istre je dobro pokriven sa NGA infrastrukturom.



Slika 24. NGA dostupnost u Republici Hrvatskoj – karta, [32]

6. USLUGA BITSTREAM PRISTUPA INTERNETU

Jačanje procesa liberalizacije na tržištu telekomunikacija u Republici Hrvatskoj je dovelo do veće konkurentnosti. Dolazak stranih telekom operatora na područje Republike Hrvatske je izazvalo veliku problematiku u ostvarivanju mogućnosti ponude usluga širokopojasnog pristupa Internetu putem nepokretne mreže. Najznačajnije promjene na hrvatskom tržištu telekomunikacija odnose se na prestanak monopola u području nepokretne mreže. Dosadašnji monopolist na tržištu telekomunikacija Hrvatski Telekom (HT) i dalje je dominantan što je jasno vidljivo iz slike 25. HT ima nadzor nad cijelom infrastrukturom što alternativni operatori nemaju te ga ta činjenica stavlja u odličan položaj na tržištu. Prvi alternativni telekom operatori sredinom 2005. godine započinju sa komercijalnim radom [30].



Slika 25. Udio operatora nepokretnih mreža obzirom na broj korisnika, [30]

U vremenskom periodu koji je uslijedio nakon sredine 2005. godine, po uzoru na Europsku regulatornu grupu (ERG), HT je napravio ponudu veleprodajnog širokopojasnog pristupa kako bi alternativnim operatorima omogućio pružanje usluga krajnjim korisnicima preko postojeće nepokretne infrastrukture koja je u vlasništvu HT-

a. Model koji rabi ERG sastoji se od četiri razine na kojima je moguć *bitstream* pristup na HT-ovu nepokretnu mrežu. Naime, radi se o razinama koje definiraju mjesto interkonekcije i preuzimanja prometa. Alternativni operator se može spojiti ili na razini samog GPON terminalnog uređaja (OLT ili DSLAM razina), na razini Ethernet agregacijske mreže HT-a (Ethernet razina), na razini podatkovne mreže uz tuneliranje PPP veza (IP razina) te najjednostavniji način, *rebranding* HT-ovih usluga gdje alternativni operator svoje usluge nudi koristeći sve kapacitete HT-a [3].

Kako bi alternativni operator bio u mogućnosti pružiti uslugu svojim krajnjim korisnicima putem ADSL/VDSL/FTTH tehnologije mora raspolagati sa vlastitom IP platformom. Kako bi krajnjem korisniku usluge alternativnog operatora uredno radile *bitstream* usluga obuhvaća korištenje lokalne petlje te kreiranje virtualne linije na DSLAM/OLT-u i mrežnoj platformi HT-a. Promet krajnjeg korisnika se prenosi od CPE modema/ONT-a na lokaciji krajnjeg korisnika preko odgovarajućeg DSLAM/OLT-a, te preko HT-ovog širokopojasnog PoP čvora ili Ethernet preklopnika do priključne točke alternativnog operatora [35].

Za kvalitetno funkcioniranje usluga krajnjeg korisnika alternativnog operatora HT alternativnom operatoru sukladno *bitstream* usluzi omogućava uspostavu pristupa i prijenosa Internet podataka po određenim pristupnim brzinama, autentifikaciju krajnjeg korisnika, prijenos Internet podataka putem L2TP tunela i uspostavu pojedinačnog širokopojasnog pristupa u skladu sa raspoloživim mrežnim kapacitetima [35].

Alternativni operator mora ispuniti određene tehničke preduvjete za pružanje Internet usluge krajnjim korisnicima koristeći HT infrastrukturu. PPPoE-Client-Software mora biti na raspolaganju krajnjem korisniku sa odgovarajućom strukturom korisničkog imena kako bi se mogao prepoznati alternativni operator i njegov krajnji korisnik. Kako bi se autentificirao krajnji korisnik potrebno je koristiti PAP ili CHAP autentifikacijske protokole [35].

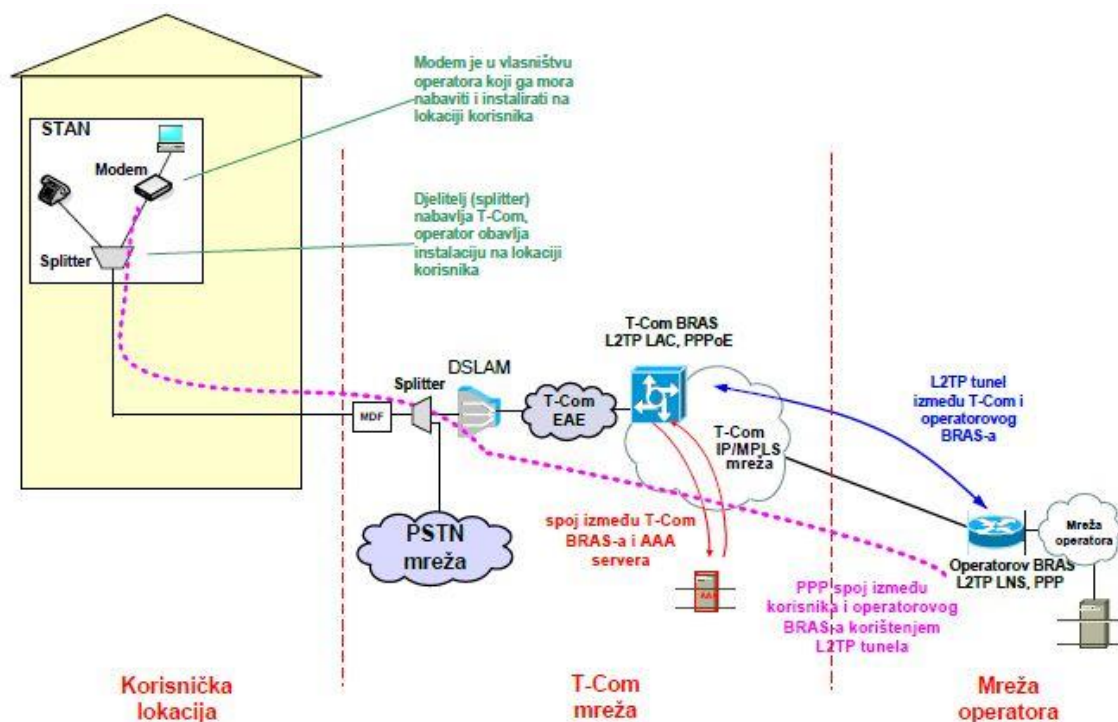
Alternativni operator mora posjedovati BRAS uređaj koji mora podržavati L2TP LNS funkcionalnost, PAP, CHAP, statičko rutiranje, RIPv2, OSPFv2, IS-IS ili BGPv4, sve u svrhu kompatibilnosti s IP mrežom HT-a. Posjedovanje AAA servera koji je zadužen za autorizaciju i autentifikaciju je nužno za ispravan rad *bitstream* usluge [35].

6.1. Realizacija bitstream usluge na IP razini

Prijenos podatkovnog prometa alternativnom operatoru je omogućen uz pristup mreži HT-a preko nacionalnih ili regionalnih širokopojasnih PoP-ova kad se radi o realizaciji usluge na IP razini. HT dodjeljuje virtualni kanal (PVC 0/33) za pristup preko ADSL odnosno VLAN 1203 za pristup Internetu na IP razini preko VDSL pristupne tehnologije [35]. Slikom 26 je prikazana arhitektura usluge *bitstream* IP razini.

Koraci koji su potrebni za uspostavljanje spoja između krajnjeg korisnika i alternativnog operatora [35]:

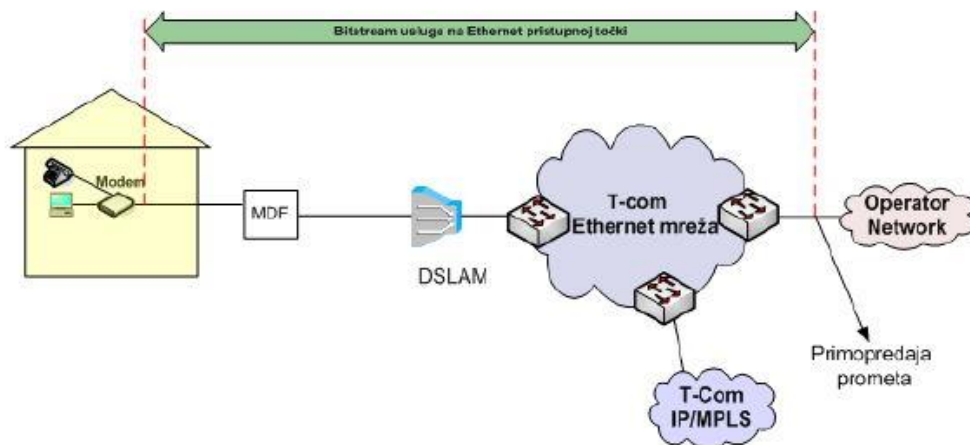
1. Korisnik uključuje PPPoE klijenta
2. Korištenjem DSLAM sustava i Ethernet agregacije uspostavlja se PPPoE spoj prema BRAS uređaju HT-a
3. HT-ov BRAS otvara spoj prema AAA sustavu i provjerava da li je alternativni operator prisutan u bazi podataka
4. AAA sustav odgovara sa parametrima za uspostavljanje L2TP tunela prema BRAS uređaju od alternativnog korisnika
5. HT-ov BRAS uspostavlja L2TP tunel prema BRAS-u alternativnog operatora te prosljeđuje korisnikove informacije za uspostavu PPP spoja
6. BRAS alternativnog operatora dostavlja informacije i parametre potrebne za uspostavu spoja ili odbija spajanje



Slika 26. Način realizacije *bitstream* usluge na IP razini, [35]

6.2. Realizacija bitstream usluge na Ethernet razini

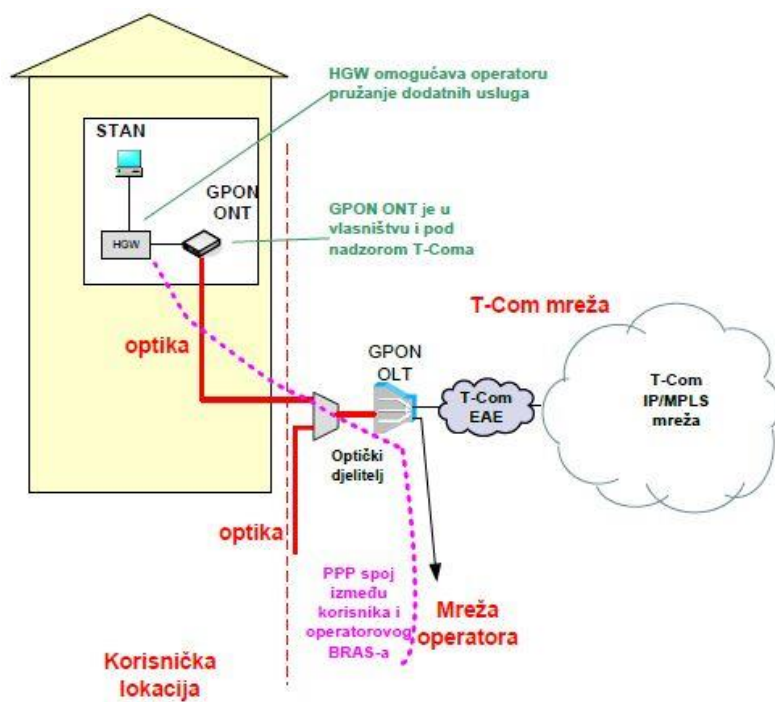
Kada se radi o realizaciji *bitstream* usluge na Ethernet razini HT uspostavlja pristup svojoj Ethernet mrežnoj platformi. Alternativni operator je dužan izabrati određeni Ethernet preklopnik ovisno o geografskom području na kojem namjerava pružati usluge krajnjim korisnicima. Kao i kod realizacije *bitstream* usluge na IP razine HT dodjeljuje virtualni kanal (PVC 0/33) za pristup preko ADSL odnosno odgovarajući VLAN za pristup preko VDSL pristupne tehnologije. Realizacija na Ethernet razini podrazumijeva da korisnički promet ne prolazi kroz HT-ov BRAS i nema uspostave L2TP tunela već PPPoE direktno terminira na BRAS uređaj alternativnog operatora kako je vidljivo na slici 27 [35].



Slika 27. Način realizacije *bitstream* usluge na Ethernet razini, [35]

6.3. Realizacija bitstream usluge na DSLAM/OLT razini

Kada je realizacija *bitstream* usluge na DSLAM/OLT razini alternativni operator pristupa određenom DSLAM/OLT-u na čijem pristupnom području želi nuditi širokopojasne Internet usluge krajnjim korisnicima. Slika 28 prikazuje koncept *bitstream* usluge na temelju FTTH tehnologije za pružanje Internet usluge s pristupom na OLT razini alternativni operator se spaja na jedan od OLT uplinkova. Kod ovakvog načina realizacije usluge alternativni operator može preuzeti podatkovni Internet promet samo onih krajnjih korisnika koji se nalaze unutar pristupnog područja koje pokriva OLT na koje se alternativni operator spojio. Korisnički promet ne prolazi kroz HT-ov BRAS i nema uspostave L2TP tunela već PPPoE direktno terminira na BRAS uređaj alternativnog operatora [35].



Slika 28. Način realizacija *bitstream* usluge na OLT razini, [35]

7. ZAKLJUČAK

Osmišljavanjem pristupnih tehnologija koje mogu raditi na postojećoj bakrenoj infrastrukturi koja prvotno nije zamišljena za širokopojasni pristup Internetu već samo za govornu komunikaciju ušteđena je velika svota novaca. Za očekivati je da se bakrena pristupna mreža koristi još dugo godina zahvaljujući tehnologijama poput VDSL-a koji omogućuju velike pristupne brzine, te radi potrebe za raznim upravno-pravnim dozvolama te velikim materijalnim sredstvima za izgradnju nove unaprijeđene svjetlovodne mreže. Povećanjem broja korisnika problemi na bakrenoj pristupnoj mreži će se povećavati no veći dio tih problema je rješiv uz manje zahtjeve koji su troškom zanemarivi.

Budućnost telekomunikacijskih mreža se može temeljiti na svjetlovodnom prijenosu radi velikog kapaciteta i dometa. Svjetlovodni prijenos odgovara na sve zahtjeve korisnika koji se odnose na prijenosne brzine i pouzdanost. Bez obzira na velike prednosti u odnosu na bakrenu pristupnu mrežu, potpunu pokrivenost najruralnijih dijelova Republike Hrvatske ne možemo očekivati još dugo iako je Europska komisija odobrila plan za širokopojasni pristup Internetu temeljen na NGN-u.

Iz rada može se zaključiti kako su tehnologije temeljene na bakrenoj pristupnoj mreži najraširenije kako na području Republike Hrvatske tako i u Europskoj uniji. Od početka liberalizacije telekomunikacijskog tržišta Republike Hrvatske cijene za pristup Internetu su pale te je kvaliteta usluge porasla. Kako bivši monopolist, a trenutno najutjecajniji operator na tržištu HT upravlja cijelom bakrenom infrastrukturom osmišljena je veleprodajna usluga *bitstream* u kojoj HT po važećem cjeniku iznajmljuje kapacitete i mogućnost pružanja usluge nekom alternativnom operatoru dok cijeli proces regulira HAKOM.

LITERATURA

- [1] Bažant A., Gledec G., Ilić Ž., Ježić G., Kos M., Kunštić M., Lovrek I., Matijašević M., Mikac B., Sinković V.: Osnove arhitekture mreža, Element, 2007
- [2] Peraković D., Periša M., Forenbacher I.: Transmisijske mreže, autorizirani nastavni materijali, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2017
- [3] Zelenika Z.: Sjena nad ADSL-om, Mreža, 2010;03: 41-52
- [4] Fabeta T.: Evolucija širokopojasnih pristupnih mreža, Revija-Ericsson Nikola Tesla, 2007;21(2): 3-19
- [5] Penttinen T. J. J.: The Telecommunications Handbook - Engineering Guidelines for Fixed, Mobile and Satellite Systems, John Wiley & Sons, Ltd, 2015
- [6] What is considered good DSL line attenuation?, Speedguide. URL: <https://www.speedguide.net/faq/what-is-considered-good-dsl-line-attenuation-371> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [7] Karafilis L.: NR margin, line attenuation, ADSL and a slow internet speed, Giantstride. URL: <https://www.giantstride.gr/snr-margin-adsl/> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [8] Heath M.: Chart of ADSL and ADSL2+ Speed Versus Distance, Increase Broadband Speed. URL: <https://www.increasebroadbandspeed.co.uk/2012/graph-ADSL-speed-versus-distance> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [9] Turning Copper into Gold, Zyxel. URL: <https://www.zyxel.com/solutions/VDSL2-20120224-055920.shtml> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [10] ADSL/VDSL, Assia-inc. URL: <https://www.assia-inc.com/knowledge-centerdsl-technology-tutorial/> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [11] Hernandez D.: Our Top Ten Most Frequently Asked Questions About VDSL, Versatek. URL: <https://www.versatek.com/blog/most-frequently-asked-vdsl2-questions/> (pristupljeno: kolovoz 2018.)

- [12] Silverman, P.: An Overview of G.993.5 Vectoring, Broadband forum, 2012. URL: <https://www.broadband-forum.org/marketing/download/mktgdocs/MR-257.pdf> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [13] VDSL bonding for ultrafast Internet Access, Combox. URL: <https://www.combox-networks.com/blog/vdsl-bonding/> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [14] Zelenika Z.: Već danas u vašem gradu, Bug. URL: <https://www.bug.hr/molex/adsl2/77421.aspx> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [15] Modulacije, FER. URL: <http://spvp.zesoi.fer.hr/seminari/2001/xDSL/contents/modulacije.htm> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [16] xDSL Modulation Techniques, Nextep Broadband. URL: http://www.tech2u.com.au/products/dsl/pdf/DSL_Modulation_Techniques.pdf (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [17] Jozić H.: Širokopojasna DSL tehnologija, završni rad, Tehničko veleučilište u Zagrebu, 2016
- [18] UA5000 Multi-Service Access Platform, Huawei. URL: <https://e.huawei.com/en/products/fixed-network/access/olt/ua5000> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [19] Horak R.: Telecommunications and data communications handbook, John Wiley & Sons, Inc., 2007
- [20] SmartAX MA5600T Series OLTs, Huawei. URL: <https://e.huawei.com/uk/products/fixed-network/access/olt/ma5600t> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [21] Zhang K.: Understanding the Split Ratios and Splitting Level of Optical Splitters, Fibreopticshare. URL: <http://www.fiberopticshare.com/understanding-split-ratios-splitting-level-optical-splitters.html> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [22] Tellabs ONT611 inside, Wikimedia. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tellabs_ONT611_inside.jpeg (pristupljeno: kolovoz 2018.)

- [23] Wang K., Mas Machuca C., Wosinska L., Urban P. J., Gavler A., Brunnström K. and Chen J.: A Techno-Economic Analysis of Active Optical Network Migration Towards the Next Generation Optical Access, Ericsson. URL: <https://www.ericsson.com/assets/local/publications/conference-papers/techno.pdf> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [24] Popović Ž.: Sljedeća generacija pasivnih optičkih mreža, Revija-Ericsson Nikola Tesla, 2010;1: 22-40.
- [25] Hogg R.: ATM PON maximizes bandwidth to homes and businesses, Lightwave. URL: <https://www.lightwaveonline.com/articles/print/volume-16/issue-9/special-report/atm-pon-maximizes-bandwidth-to-homes-and-businesses-53489072.html> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [26] Trots, J.: An Overview of GPON in the Access Network, Ericsson. URL: <http://www.pitt.edu/~dtipper/2011/Slides10.pdf> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [27] Zhang K.: Differences between CWDM and DWDM, Fiber optic components, kolovoz 2015. URL: <http://www.fiber-optic-components.com/differences-between-cwdm-and-dwdm2.html> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [28] Comprehensive Understanding of FTTx Network, FS. URL: <https://community.fs.com/blog/a-comprehensive-understanding-of-fttx-network.html> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [29] FTTx – P2P, P2MP, Optisis. URL: <https://www.optisis.si/portfolios-view/fttx-p2p-p2mp/?lang=en> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [30] e-Tržište, HAKOM. URL: <https://www.hakom.hr/default.aspx?id=60> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [31] Analiza tržišta veleprodajnog (fizičkog) pristupa mrežnoj infrastrukturi (uključujući dijeljeni ili potpuni izdvojeni pristup) na fiksnoj lokaciji, HAKOM. URL: <https://www.hakom.hr/UserDocsImages/dokumenti/Tr%C5%BEi%C5%A1te%20veleprodajnog%20fizi%C4%8Dkog%20pristupa%20mre%C5%BEnoj%20infrastrukturi%20na%20fiksnoj%20lokaciji.pdf> (pristupljeno: kolovoz 2018.)

[32] Broadband Coverage in Europe 2017, European commission. URL: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0f079a7b-6ac8-11e8-9483-01aa75ed71a1/language-en> (pristupljeno: kolovoz 2018.)

[33] Broadband data files, Digital Scoreboard 2017, European Commission. URL: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/broadband-data-files-digital-scoreboard-2017> (pristupljeno: kolovoz 2018.)

[34] Strategija razvoja širokopojasnog pristupa u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2016. do 2020. godine, MPPI. URL: <http://www.mppi.hr/UserDocsImages/Strategija-sirokopojasni-pristup2016-2020-usvojeno%20na%20VRH.pdf> (pristupljeno: kolovoz 2018.)

[35] Standardna ponuda Hrvatskog telekoma d.d. za uslugu veleprodajnog širokopojasnog pristupa, HAKOM, URL: [https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2013/analiza_trzista/Standardne%20ponude/SP%20HT-a%20za%20uslugu%20veleprodajnog%20%C5%A1irokopojasnog%20pristupa%20\(BSA\)\(%C4%8Distopis\)_20130717.pdf](https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2013/analiza_trzista/Standardne%20ponude/SP%20HT-a%20za%20uslugu%20veleprodajnog%20%C5%A1irokopojasnog%20pristupa%20(BSA)(%C4%8Distopis)_20130717.pdf) (pristupljeno: kolovoz 2018.)

POPIS KRATICA

AAA	Authentication, Authorization and Accounting
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AON	Active Optical Network
APON	Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AT&T	American Telephone and Telegraph Company
BGPv4	Border Gateway Protocol version 4
BPON	Broadband Passive Optical Network
BRA	Basic Rate Access
BRAS	Broadband Remote Access Server
CAP	Carrierless Amplitude Phase modulation
CHAP	Challenge Handshake Authentication Protocol
CPE	Customer Premises Equipment
CPU	Central Processor Unit
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplex
DMT	Discrete Multitone
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexor
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplex
EPON	Ethernet Passive Optical Network
FEXT	Far end crosstalk
FTTB	Fibre To The Building
FTTC	Fibre To The Curb
FTTH	Fibre To The Home
FTTN	Fibre To The Node
GPON	Gigabit Passive Optical Network

HAKOM	Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti
HDF	Handover Distribution Frame
HDTV	High Definition TV
HT	Hrvatski Telekom
IAD	Internet Access Device
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol TV
IS-IS	Intermediate System to Intermediate System
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU-T	International Telecom Union
LED	Light Emiting Diode
L2TP	Layer 2 Tunneling Protocol
MDF	Main Distribution Frame
MPEG	Moving Picture Experts Group
NEXT	Near end crosstalk
NGA	Next Generation Access
NGN	Next Generation Networks
NT	Network Termination
OLT	Optical Line Terminal
ONT	Optical Network Terminal
ONU	Optical Network Unit
OSI	Open Systems Interconnection
OSPFv2	Open Shortest Path First version 2
OTT	Over The Top
PAP	Password Authentication Protocol
POTS	Plain Old Telephone Service
PON	Passive Optical Network
PoP	Point of Presence
PPP	Point to Point Protocol

PPPoE	Point to Point Protocol over Ethernet
PRA	Primary Rate Access
PVC	Permanent Virtual Circuit
P2MP	Point-to-Multipoint
P2P	Point-to-Point
RIPv2	Routing Information Protocol version 2
SNR	Signal to Noise Ratio
VDSL	Very high speed Digital Subscriber Line
VLAN	Virtual Local Area Network
VoIP	Voice over IP
WDM	Wavelength Division Multiplex
XGPON	10 Gigabit Passive Optical Network

POPIS SLIKA

Slika 1. Arhitektura informacijsko-komunikacijske mreže, [1]	3
Slika 2. xDSL arhitektura. Izvor [35]	7
Slika 3. Arhitektura VDSL tehnologije, [10]	12
Slika 4. Ovisnost brzine o duljini parice na VDSL2 vektoriranom i ne vektoriranom signalu, [9]	15
Slika 5. Frekvencijski spektar korišten kod ADSL tehnologije, [1]	16
Slika 6. Primjena DMT modulacije kod ADSL tehnologije, [5]	17
Slika 7. Huawei UA5000 DSLAM, [18]	18
Slika 8. Vrste preslušavanja, [2]	19
Slika 9. Optički linijski terminal - Huawei SmartAX MA5603T, [20]	22
Slika 10. Centralizirani razdjelnik, [21]	23
Slika 11. Kaskadni razdjelnik, [21]	23
Slika 12. Optički mrežni terminal, [22]	24
Slika 13. Topologije aktivne optičke mreže, [23]	25
Slika 14. Arhitektura pasivne optičke mreže, [24]	26
Slika 15. Multipleksiranje po valnim duljinama, [27]	29
Slika 16. Prikaz valnih duljina CWDM i DWDM tehnika, [27]	31
Slika 17. FTTx vrste pristupa, [28].	32
Slika 18. FTTH P2P topologija, [29]	34
Slika 19. Broj priključaka širokopoasnog pristupa Internetu putem nepokretne mreže, [30]	35
Slika 20. Gustoća priključaka širokopoasnog pristupa Internetu putem nepokretne mreže, [30]	36
Slika 21. Broj širokopoasnih priključaka po županijama, [30]	37
Slika 22. Gustoća širokopoasnih priključaka po županijama [30]	38
Slika 23. Dostupnost širokopoasnog pristupa Internetu putem nepokretne mreže u Republici Hrvatskoj – karta, [32]	41
Slika 24. NGA dostupnost u Republici Hrvatskoj – karta, [32]	43
Slika 25. Udio operatora nepokretnih mreža obzirom na broj korisnika, [30]	44
Slika 26. Način realizacije <i>bitstream</i> usluge na IP razini, [35]	47
Slika 27. Način realizacije <i>bitstream</i> usluge na Ethernet razini, [35]	48
Slika 28. Način realizacija <i>bitstream</i> usluge na OLT razini, [35]	49

POPIS TABLICA

Tablica 1. Kvaliteta xDSL linije u odnosu na razinu SNR-a	9
Tablica 2. VDSL2 profili	14
Tablica 3. GPON standardizacija.....	28
Tablica 4. Broj priključaka širokopoasnog pristupa ovisno o korištenoj tehnologiji ..	38

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Ovisnost atenuacije o duljini parice	8
Grafikon 2. Ovisnost dolazne brzine o duljini parice – ADSL.....	10
Grafikon 3. Ovisnost dolazne brzine o duljini parice – ADSL2/ADSL2+	11
Grafikon 4. Ovisnost dolazne brzine o duljini parice – VDSL/VDSL2	13
Grafikon 5. Dostupnost širokopojasnog pristupa Internetu putem nepokretne mreže	40
Grafikon 6. Dostupnost širokopojasnog pristupa Internetu u nepokretnoj mreži prema korištenoj tehnologiji	42
Grafikon 7. Dostupnost NGA infrastrukture	43



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.
Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.
Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ završnog rada
pod naslovom **Širokopojasni pristup Internetu u Republici Hrvatskoj**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 8.9.2018 _____

Student/ica:

(potpis)